

Efficacité énergétique dans le secteur de l'eau
(Volume 3)
Eaux usées municipales
Hydro-Québec

HYDRO-QUÉBEC

INRS-Eau

Efficacité énergétique électrique

Les mesures d'efficacité énergétique électrique dans le secteur de l'eau

Volume 3

Les mesures d'efficacité énergétique pour l'épuration des eaux usées municipales

*par : Jean-François Blais, Khalil Mamouny, Kibi Nlombi , Jean-Louis Sasseville,
Michel Létourneau*

Avec la participation du Groupe Solivar Inc.

Édition : Jean-Louis Sasseville et Jean-François Blais

INRS-Eau, Rapport scientifique No. 405
Institut national de la recherche scientifique

Équipe de réalisation du projet

INRS-Eau

Jean-Louis Sasseville, Jean-François Blais, Jean-Daniel Bourgault, Jacynte Lareau, Rabia Lebcir, Khalil Mamouny, Kibi Nlombi, Wanda Sochanski, Johanne Desrosiers, Denis Couillard et Jean-Pierre Villeneuve

OPTI-CONSEIL Inc.

Richard Lampron, Michel Tremblay, Robert Fontaine

Solivar Groupe Conseil Inc.

Charles Frenette, Luc Gauvin, Michel Létourneau

TN Conseil Inc.

Pierre Hosatte

Sommaire

Les infrastructures de traitement et d'épuration des eaux consomment approximativement 3 à 4 % de l'électricité utilisée à l'échelle nationale. C'est un secteur de l'économie où la consommation d'électricité est relativement élevée. Plusieurs études réalisées par des organismes de R&D aux États-Unis, et certaines constatations faites sur le mode de consommation de l'énergie électrique dans les industries de l'eau, montrent que des réductions substantielles de la demande peuvent être réalisées par une meilleure rationalisation de la consommation. Hydro-Québec, principal fournisseur d'énergie électrique au Québec, s'est donc donné comme objectif d'établir un programme cadre pour la mise en place de mesures d'efficacité énergétique dans ce secteur. L'INRS-Eau a été mandaté par cet organisme pour réaliser une étude intitulée "Survol des programmes d'efficacité énergétique nord-américains et européens et inventaires des mesures d'efficacité énergétique électrique applicables au Québec dans le domaine du traitement des eaux et de l'assainissement". L'objectif de cette étude est d'aider Hydro-Québec à définir les orientations à y donner et d'inventorier les mesures d'efficacité énergétique électrique existantes. Le présent rapport de recherche, le Volume 3 d'une série de cinq rapports sur la gestion de la demande d'électricité dans les industries de l'eau au Québec, traite spécifiquement des divers aspects touchant à la consommation énergétique des ouvrages québécois d'assainissement des eaux usées.

Le premier chapitre présente une description technique et schématisée des principaux procédés employés dans les ouvrages d'assainissement des eaux usées municipales. Le second chapitre fait le point sur l'état d'avancement du programme québécois d'assainissement des eaux usées (PAEQ) mis en place au début des années 80'. Le troisième chapitre discute du rendement épuratoire des stations d'épuration, et ce, en fonction du type de traitement employé, de la charge hydraulique (débit d'eaux usées) et de la charge organique à épurer (DBO_5 , MES et P_{tot}). Le quatrième chapitre brosse tout d'abord un profil global de la consommation énergétique québécoise associée à l'épuration des eaux usées municipales. Ensuite, la consommation électrique totale du parc de stations d'épuration est discutée en fonction de la population desservie, de la charge hydraulique et organique, et de la performance épuratoire globale des ouvrages d'assainissement des eaux. Enfin, l'importance des fluctuations diurne, journalière, hebdomadaire et saisonnière de la demande est également examinée. Le cinquième chapitre traite de l'efficacité énergétique hydraulique (EEH) et épuratoire (EEE) des divers systèmes de traitement des eaux usées en opération au Québec. Le sixième chapitre discute du rôle de la configuration des procédés d'épuration et des équipements électriques utilisés dans les procédés d'assainissement, en rapport à la consommation électrique. Pour faire suite, le septième chapitre présente une analyse détaillée de la consommation électrique dans quatre stations d'épuration québécoises avec des types différents de traitement des eaux usées : 1) la station de type boues activées de Pincourt; 2) la station de type biofiltration de la CUQ; 3) la station de type étangs aérés de Sainte-Étienne-de-Lauzon et 4) la station de type physico-chimique de la CUM. Finalement, le dernier chapitre a été réservé à la formulation des recommandations portant sur les mesures opératoires d'efficacité énergétique et technologique devant être privilégiées. Ceci a été fait en tenant compte de la situation particulière dans laquelle se retrouve le parc des ouvrages d'assainissement des eaux usées au Québec. De même, un effort a été consenti à l'identification des domaines d'intérêt pour la R & D dans le secteur de l'efficacité énergétique pour l'épuration des eaux usées municipales.

Les recherches effectuées montrent que les mesures d'économie d'énergie dans le pompage des eaux usées doivent porter notamment au niveau de l'entretien des équipements. Une attention doit également être portée à la propreté et à l'ajustement des contacts électriques essentiels pour une utilisation optimale de la puissance. Cette étude

suggère aussi que, dans le cas des opérations à forte consommation d'électricité comme les systèmes de pompage, des économies d'énergie substantielles peuvent être obtenues en utilisant des moteurs à haute efficacité. Pour les cas de fluctuations importantes de la charge hydraulique, l'emploi de pompes à débit variable permet aussi de réaliser des économies d'énergie en fournissant seulement la puissance nécessaire pour une opération donnée. Il est toutefois recommandé d'employer des pompes à débit constant lorsque les conditions opératoires sont optimisées et fixes. La réduction, lorsque possible, de la hauteur de la tête d'eau des pompes et du nombre de coudes dans les conduites est également à préconiser. Une mesure particulièrement recommandable au Québec, consisterait à l'installation et à l'optimisation de l'utilisation des bassins d'égalisation des eaux et de stockage des boues pour une opération accrue des pompes en période hors pointe. Des mesures correctrices devraient également être apportées à la puissance des pompes en place, notamment dans les petites stations. De plus, à défaut de pouvoir remplacer les réseaux d'égouts unitaires par des égouts sélectifs, il est nécessaire de veiller à optimiser l'entretien des réseaux de collecte des eaux usées.

Au niveau du traitement primaire, des mesures d'économie peuvent être réalisées en évitant le pompage excessif de la mousse, des écumes et des boues primaires. En ce qui concerne le dessablage, des économies d'énergie peuvent être obtenues en minimisant le lavage des dessableurs. De manière générale, une plus grande attention doit être accordée aux pratiques de pompage, pour réduire les volumes de boues à pomper.

En contrôlant la sortie d'air dans les soufflantes de façon à maintenir l'oxygène dissous au niveau minimum requis pour un traitement adéquat, une économie d'énergie substantielle pourrait être réalisée. L'utilisation de diffuseurs à fines bulles ou à membranes présentant une meilleure capacité d'oxygénation que les diffuseurs conventionnels à grosses bulles permettrait aussi de réduire considérablement la dépense électrique pour les systèmes de boues activées, d'étangs aérés et de digestion aérobique des boues. Une autre mesure applicable à la situation québécoise, consisterait en l'optimisation du rapport F/M dans les bassins d'aération. Les recherches suggèrent également d'employer des systèmes avec nitrification-dénitrification, lorsque les systèmes de boues activées doivent comprendre au moins l'étape de nitrification. L'utilisation de pompes plus performantes pour la recirculation des boues est également une pratique énergétiquement profitable.

Une étude serait souhaitable afin de vérifier, dans les stations d'épuration municipales, les possibilités de mise en place de techniques d'épaississement des boues. Des efforts de recherche devraient également porter sur l'efficacité, in situ, des systèmes implantés, afin d'une part, d'optimiser ces unités et, d'autre part, de définir si le type d'épaississeur employé constitue le meilleur choix technologique pour la situation donnée.

Comme première mesure d'efficacité énergétique liée à la stabilisation des boues, il peut être suggéré, lorsque possible, de privilégier l'emploi de systèmes de digestion anaérobie au lieu des systèmes aérobies. La digestion aérobique-anoxie, développée durant les dernières années, permet de diminuer de presque 50 % les coûts associés à l'aération des boues, sans pour autant affecter significativement la qualité du traitement. L'opération de procédés de digestion aérobique ou anaérobie thermophile, très performants pour la stabilisation microbiologique des boues, est également une voie à explorer comme technologies de substitution. La combinaison de procédés thermophiles et mésophiles apparaît également une approche intéressante pour réduire la consommation énergétique. De plus, les connaissances actuelles portant sur les technologies de décontamination des boues d'épuration développées à l'INRS-Eau, indiquent clairement que l'opération de celles-ci peut résulter en une réduction de la consommation électrique associée au traitement des boues.

Une innovation intéressante, déjà examinée au laboratoire des technologies électrochimiques et des électrotechnologies d'Hydro-Québec à Shawinigan, comprend la combinaison d'une étape de séchage par radiation infrarouge à la filtration sur bandes presseuses. Cette méthode prometteuse, permettant de hausser le rendement de déshydratation des boues, devrait être explorée dans le cadre d'une étude pilote. En ce sens, la substitution des procédés conventionnels de stabilisation des boues, par un séchage à la vapeur ou par infrarouge, représente une voie de recherche d'un intérêt évident.

L'amélioration de l'efficacité énergétique des incinérateurs à boues constitue également un domaine à explorer. La vapeur produite lors de l'incinération des boues peut également être employée pour divers usages dans la station, permettant ainsi une réduction de la consommation électrique. Des recherches devraient être réalisées afin d'étudier les possibilités de récupération et de réutilisation de la chaleur produite dans les diverses étapes de traitement dans les stations d'épuration.

Il serait aussi approprié d'encourager des programmes de surveillance au niveau de l'éclairage, ceux-ci ne nécessitant d'ailleurs aucun investissement particulier. L'utilisation de tubes fluorescents économiseurs d'énergie permettrait également, dans certains cas, de réaliser des économies intéressantes, sans pour autant diminuer la qualité de l'éclairage. Il est suggéré de réduire le plus possible le chauffage et la climatisation pendant les fins de semaine et les jours de congé, dans les bâtiments inoccupés. Il est aussi souhaitable d'établir des températures d'exploitation minimales l'hiver et maximales l'été, en fonction de l'utilisation des locaux. Une autre mesure envisageable comprend l'installation d'un système informatisé de régulation centrale pour assurer la commande et la surveillance des installations de chauffage, de ventilation et d'air climatisé des ouvrages d'assainissement. Finalement, il serait recommandable que HYDRO-QUÉBEC participe à l'étude sur l'efficacité énergétique réalisée à la station d'épuration de la CUM, afin de pouvoir définir quelles seraient les mesures pertinentes à envisager pour les autres stations d'épuration québécoises.

De manière générale, la mise en oeuvre de plusieurs mesures d'efficacité énergétique électrique pour le traitement des eaux usées devrait pouvoir se réaliser sans réduire la qualité des traitements. Dans certains cas, des modifications apportées à la gestion des procédés et des infrastructures, ou encore certaines substitutions ou changements technologiques, pourraient résulter en une amélioration des performances épuratoires. Des études de faisabilité technico-économique devraient être mises de l'avant dans le cas de mesures importantes, afin de s'assurer de leur viabilité dans le contexte québécois. Dans la stratégie de mise en place de certaines mesures, une place de choix devrait être accordée aux ressources humaines. Il serait souhaitable, par exemple, d'inciter les opérateurs à appliquer judicieusement les mesures préconisées.

Table des matières

SOMMAIRE.....	iii
TABLE DES MATIÈRES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
LISTE DES FIGURES.....	xiv
LISTE DES SCHÉMAS.....	xvii
INTRODUCTION.....	1
1. DESCRIPTION GÉNÉRALE DES OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT DES EAUX USÉES MUNICIPALES.....	5
1.1 Le prétraitement.....	5
1.2 Le traitement primaire.....	6
1.3 Le traitement secondaire.....	6
1.3.1 Boues activées.....	6
1.3.2 Biodisques.....	13
1.3.3 Biofiltration.....	15
1.3.4 Lagunage.....	19
1.3.5 Procédés physico-chimiques.....	20
1.4 Traitement tertiaire.....	23
1.5 Traitement et élimination des boues.....	23
1.5.1 Épaississement.....	23
1.5.2 Stabilisation des boues.....	23
1.5.3 Conditionnement et déshydratation.....	25
1.5.4 Disposition finale des boues.....	27
2. ÉTAT ACTUEL DU PARC DE STATIONS D'ÉPURATION DES EAUX USÉES MUNICIPALES AU QUÉBEC.....	28
3. PERFORMANCE ÉPURATOIRE DES STATIONS D'ÉPURATION.....	41
4. PROFIL DE CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE.....	49
4.1 Demande actuelle et projection.....	49
4.1.1 Consommation électrique totale pour le parc d'équipement.....	49
4.1.2 L'efficacité énergétique hydraulique.....	50
4.1.3 L'efficacité énergétique épuratoire.....	53
4.1.4 Les coûts reliés à la consommation d'électricité.....	57
4.1.5 La demande de puissance.....	59
4.2 Fluctuation de la consommation.....	64
4.2.1 Profil diurne de la consommation électrique.....	65
4.2.2 Profil quotidien de la consommation électrique.....	70
4.2.3 Profil hebdomadaire de la consommation électrique.....	75
4.2.4 Profil mensuel ou saisonnier de la consommation électrique.....	77
5. EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ÉPURATOIRE DES OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT.....	84
5.1 Boues activées.....	84
5.2 Biodisques.....	87

5.3 Biofiltration.....	90
5.4 Étangs aérés.....	93
5.5 Procédés physico-chimiques.....	96
6. CONFIGURATION DES PROCÉDÉS ET DES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES.....	98
6.1 Prétraitement.....	98
6.1.1 Pompage des eaux usées.....	98
6.1.2 Dégrillage.....	99
6.1.3 Dessablage.....	99
6.1.4 Comminution.....	100
6.2 Traitement primaire.....	100
6.3 Traitement secondaire.....	101
6.3.1 Boues activées.....	101
6.3.2 Biodisques.....	103
6.3.3 Biofiltration.....	103
6.3.4 Étangs aérés.....	104
6.4 Traitement tertiaire.....	104
6.4.1 Dosage des produits chimiques.....	105
6.4.2 Pompage pour la filtration tertiaire.....	105
6.4.3 Filtration tertiaire.....	105
6.4.4 Désinfection des eaux.....	105
6.5 Traitement et élimination des boues.....	107
6.5.1 Épaississement des boues.....	107
6.5.2 Stabilisation des boues.....	109
6.5.3 Déshydratation des boues.....	111
6.5.4 Incinération des boues.....	115
6.6 Éclairage et chauffage/climatisation des bâtiments.....	115
7. BILAN ÉLECTRIQUE DES STATIONS D'ÉPURATION QUÉBÉCOISES....	117
7.1 Station physico-chimique de la CUM.....	119
7.2 Stations de biofiltration de la CUQ-Ouest.....	121
7.3 Station de boues activées de Pincourt.....	124
7.4 Station d'étangs aérés de Saint-Étienne-de-Lauzon.....	127
7.5 Causes potentielles de la variabilité de la consommation d'électricité dans les stations d'épuration.....	128
7.5.1 Procédés.....	128
7.5.2 Caractéristiques des eaux usées à traiter.....	129
7.5.3 Normes de rejet.....	129
7.5.4 Gestion des boues.....	130
7.5.5 Équipements mécaniques.....	130
7.5.6 Topographie du site d'implantation de l'usine.....	130
7.5.7 Mécanique de bâtiment.....	130
8. OPPORTUNITÉS D'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE.....	131
8.1 Pompage des eaux usées et des boues.....	137
8.2 Prétraitement et traitement primaire.....	138
8.3 Traitement secondaire.....	139
8.3.1 Boues activées.....	139
8.3.2 Biodisques.....	141
8.3.3 Biofiltration.....	141
8.3.4 Étangs aérés.....	142
8.3.5 Autres systèmes.....	143

8.4 Traitement tertiaire.....	143
8.4.1 Désinfection des eaux.....	143
8.4.2 Déphosphoration.....	144
8.4.3 Filtration tertiaire.....	144
8.5 Traitement et élimination des boues.....	145
8.5.1 Épaississement des boues.....	145
8.5.2 Stabilisation des boues.....	146
8.5.3 Conditionnement et déshydratation des boues.....	148
8.6 Éclairage, chauffage et climatisation des bâtiments.....	150
8.7 Gestion de la demande d'électricité.....	151
8.8 La mise en application des MEEE.....	152
CONCLUSION	155
BIBLIOGRAPHIE.....	156
APPENDICE A.....	161
APPENDICE B.....	162
APPENDICE C.....	163
APPENDICE D.....	164



Liste des Tableaux

TABLEAU 1.	RÉPARTITION DU NOMBRE D'OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT SELON LES TYPES DE TRAITEMENT ET LES PROCÉDÉS EMPLOYÉS	32
TABLEAU 2.	RÉPARTITION DE LA CAPACITÉ DE TRAITEMENT (X 1000 M ³ /D) SELON LES TYPES DE TRAITEMENT ET LES PROCÉDÉS EMPLOYÉS	32
TABLEAU 3.	RÉPARTITION DE LA POPULATION DESSERVIE (X 1000 PERSONNES) SELON LES TYPES DE TRAITEMENT ET LES PROCÉDÉS EMPLOYÉS	33
TABLEAU 4.	POPULATION ET CAPACITÉ DE TRAITEMENT MOYENNES PAR STATION D'ÉPURATION	34
TABLEAU 5.	RÉPARTITION DU NOMBRE D'OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT SELON LES TYPES DE TRAITEMENT ET LE DÉBIT D'EAUX USÉES À TRAITER	35
TABLEAU 6.	RÉPARTITION DE LA CAPACITÉ DE TRAITEMENT (X 1000 M ³ /D) SELON LES TYPES DE TRAITEMENT ET LE DÉBIT D'EAUX USÉES À TRAITER	36
TABLEAU 7.	RÉPARTITION DE LA POPULATION DESSERVIE (X 1000 PERSONNES) SELON LES TYPES DE TRAITEMENT ET LE DÉBIT D'EAUX USÉES À TRAITER	36
TABLEAU 8.	RÉPARTITION DES STATIONS D'ÉPURATION AMÉRICAINES SELON LA CAPACITÉ DE TRAITEMENT	37
TABLEAU 9.	RÉPARTITION DES STATIONS D'ÉPURATION AMÉRICAINES SELON LE NIVEAU DE TRAITEMENT	38
TABLEAU 10.	DÉNOMBREMENT DES DIVERS PROCÉDÉS BIOLOGIQUES D'ÉPURATION DES EAUX USÉES EMPLOYÉS AUX ÉTATS-UNIS	39
TABLEAU 11.	DÉNOMBREMENT DES DIVERS PROCÉDÉS DE TRAITEMENT DES BOUES D'ÉPURATION EMPLOYÉS AUX ÉTATS-UNIS	40
TABLEAU 12.	EXIGENCES ANNUELLES, QUADRIANNUELLES, MENSUELLES ET HEBDOMADAIRES POUR LES REJETS EN DBO ₅ SELON LA TECHNOLOGIE DE TRAITEMENT (MEF)	43
TABLEAU 13.	EXIGENCES ANNUELLES, QUADRIANNUELLES, MENSUELLES ET HEBDOMADAIRES POUR LES REJETS EN MES SELON LA TECHNOLOGIE DE TRAITEMENT ET LA CATÉGORIE DE LA STATION	44
TABLEAU 14.	EXIGENCES ANNUELLES, QUADRIANNUELLES, MENSUELLES, HEBDOMADAIRES ET QUOTIDIENNES POUR LES REJETS EN PHOSPHORE SELON LA TECHNOLOGIE DE TRAITEMENT ET LA CATÉGORIE DE LA STATION	45
TABLEAU 15.	CHARGES MOYENNES (MG/L) DES AFFLUENTS ET EFFLUENTS POUR LES DIVERS TYPES DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES UTILISÉS AU QUÉBEC ..	47
TABLEAU 16.	RENDEMENTS ANNUELS MOYENS (%) DES STATIONS D'ÉPURATION POUR LES DIVERS TYPES DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES UTILISÉS AU QUÉBEC	48
TABLEAU 17.	BILAN DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE GLOBALE DE L'ÉPURATION DES EAUX USÉES MUNICIPALES AU QUÉBEC EN FONCTION DE LA CHARGE HYDRAULIQUE	51
TABLEAU 18.	BILAN DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE GLOBALE DE L'ÉPURATION DES EAUX USÉES MUNICIPALES AU QUÉBEC EN FONCTION DE LA CAPACITÉ ÉPURATOIRE	55
TABLEAU 19.	BILAN DES COÛTS EN ÉLECTRICITÉ ASSOCIÉS À L'ÉPURATION DES EAUX USÉES MUNICIPALES AU QUÉBEC	59
TABLEAU 20.	BILAN GLOBAL DE LA PUISSANCE ÉLECTRIQUE APPELÉE LORS DE L'ÉPURATION DES EAUX USÉES MUNICIPALES AU QUÉBEC	60
TABLEAU 21.	VARIATION DU FACTEUR DE POINTE DE PUISSANCE (FP) LORS DE L'ÉPURATION DES EAUX USÉES MUNICIPALES AU QUÉBEC	61

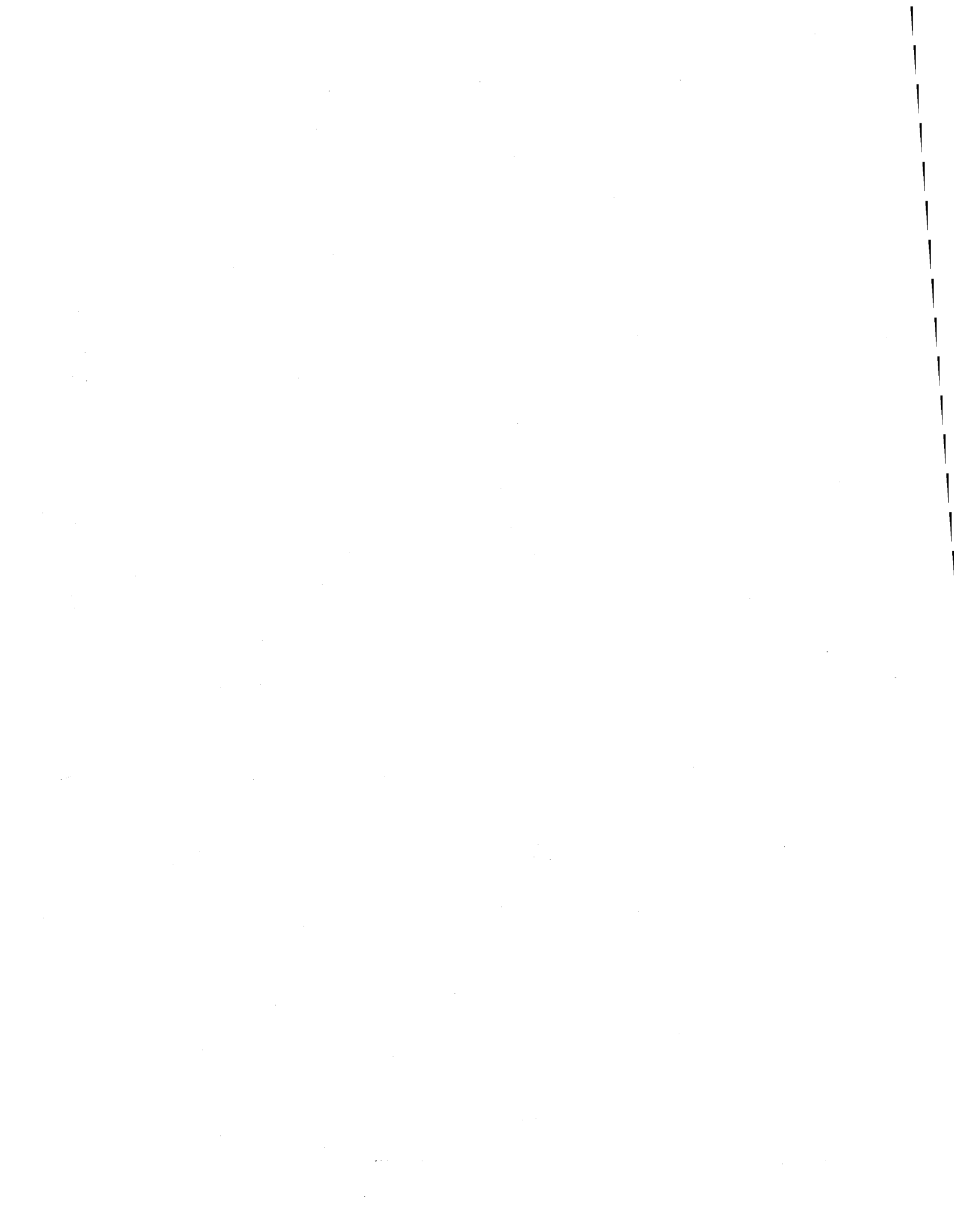
TABLEAU 22.	BILAN ÉLECTRIQUE GLOBAL DE L'ÉPURATION DES EAUX USÉES MUNICIPALES AUX ÉTATS-UNIS.....	62
TABLEAU 23.	BILAN DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE POUR LES STATIONS D'ÉPURATION DE TYPE BOUES ACTIVÉES EN FONCTION DE LA CHARGE HYDRAULIQUE.....	85
TABLEAU 24.	BILAN DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE POUR LES STATIONS D'ÉPURATION DE TYPE BOUES ACTIVÉES EN FONCTION DE LA CAPACITÉ ÉPURATOIRE.....	86
TABLEAU 25.	BILAN DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE POUR LES STATIONS D'ÉPURATION DE TYPE BIODISQUES EN FONCTION DE LA CHARGE HYDRAULIQUE.....	88
TABLEAU 26.	BILAN DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE POUR LES STATIONS D'ÉPURATION DE TYPE BIODISQUES EN FONCTION DE LA CAPACITÉ ÉPURATOIRE.....	89
TABLEAU 27.	BILAN DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE POUR LES STATIONS D'ÉPURATION DE TYPE BIOFILTRATION EN FONCTION DE LA CHARGE HYDRAULIQUE.....	91
TABLEAU 28.	BILAN DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE POUR LES STATIONS D'ÉPURATION DE TYPE BIOFILTRATION EN FONCTION DE LA CAPACITÉ ÉPURATOIRE.....	92
TABLEAU 29.	BILAN DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE POUR LES STATIONS D'ÉPURATION DE TYPE ÉTANGS AÉRÉS EN FONCTION DE LA CHARGE HYDRAULIQUE.....	94
TABLEAU 30.	BILAN DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE POUR LES STATIONS D'ÉPURATION DE TYPE ÉTANGS AÉRÉS EN FONCTION DE LA CAPACITÉ ÉPURATOIRE.....	95
TABLEAU 31.	BILAN DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE POUR LES STATIONS D'ÉPURATION DE TYPE PHYSICO-CHIMIQUE EN FONCTION DE LA CHARGE HYDRAULIQUE.....	97
TABLEAU 32.	BILAN DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE POUR LES STATIONS D'ÉPURATION DE TYPE PHYSICO-CHIMIQUE EN FONCTION DE LA CAPACITÉ ÉPURATOIRE.....	97
TABLEAU 33.	CONSOMMATION ÉLECTRIQUE TYPIQUE DES DIVERS PROCÉDÉS DE DÉCONTAMINATION ET STABILISATION DES BOUES D'ÉPURATION.....	111
TABLEAU 34.	CONSOMMATION ÉLECTRIQUE DES DIVERSES MÉTHODES DE DÉSHYDRATATION DES BOUES D'ÉPURATION (SCS ENGINEERS INC., 1985).....	112
TABLEAU 35.	TAUX DE CHARGEMENT DES BOUES EN FONCTION DE LA SICCITÉ INITIALE DES BOUES.....	114
TABLEAU 36.	CONSOMMATION ÉLECTRIQUE (KWH/TBS) REQUISE POUR L'INCINÉRATION DES BOUES D'ÉPURATION MUNICIPALES (SCS ENGINEERS INC., 1985).....	115
TABLEAU 37.	CONSOMMATION ÉLECTRIQUE (KWH/M ³) REQUISE POUR LE CHAUFFAGE ET LA CLIMATISATION DES STATIONS D'ÉPURATION MUNICIPALES.....	116
TABLEAU 38.	CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DES CINQ STATIONS D'ÉPURATION AYANT FAIT L'OBJET D'UN SONDAGE.....	117
TABLEAU 39.	SOURCES D'INFORMATIONS DE BASE POUR L'ÉVALUATION DE LA CONSOMMATION ET DE LA DEMANDE DE PUISSANCE ÉLECTRIQUE DES STATIONS D'ÉPURATION.....	118
TABLEAU 40.	BILAN ÉNERGÉTIQUE DU MOIS DE FÉVRIER POUR LA STATION D'ÉPURATION DE LA CUM.....	121
TABLEAU 41.	BILAN ÉNERGÉTIQUE DU MOIS DE JUILLET POUR LA STATION D'ÉPURATION DE LA CUM.....	121
TABLEAU 42.	BILAN ÉNERGÉTIQUE DU MOIS DE FÉVRIER POUR LA STATION D'ÉPURATION DE LA CUQ-OUEST.....	123

TABLEAU 43.	BILAN ÉNERGÉTIQUE DU MOIS DE JUILLET POUR LA STATION D'ÉPURATION DE LA CUQ-OUEST	124
TABLEAU 44.	BILAN ÉNERGÉTIQUE DU MOIS DE FÉVRIER POUR LA STATION D'ÉPURATION DE PINCOURT	126
TABLEAU 45.	BILAN ÉNERGÉTIQUE DU MOIS DE JUILLET POUR LA STATION D'ÉPURATION DE PINCOURT	126
TABLEAU 46.	BILAN ÉNERGÉTIQUE DU MOIS DE FÉVRIER POUR LA STATION D'ÉPURATION DE SAINT-ÉTIENNE-DE-LAUZON	128
TABLEAU 47.	BILAN ÉNERGÉTIQUE DU MOIS DE JUILLET POUR LA STATION D'ÉPURATION DE SAINT-ÉTIENNE-DE-LAUZON	128
TABLEAU 48.	IDENTIFICATION DES MEEE POTENTIELLES ET LEUR INCIDENCE SUR LA GESTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE	132
TABLEAU 49.	LÉGENDE DES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES	133
TABLEAU 50.	MEEE APPLICABLES PAR SECTEUR D'UNE STATION D'ÉPURATION	134

Liste des Figures

FIGURE 1.	ÉVOLUTION DU NOMBRE D'OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT DES EAUX USÉES EN OPÉRATION AU QUÉBEC.	29
FIGURE 2.	ÉVOLUTION DE LA POPULATION DESSERVIE PAR DES D'OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT DES EAUX USÉES AU QUÉBEC.....	30
FIGURE 3.	VARIATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE HYDRAULIQUE (EEH) DES STATIONS QUÉBÉCOISES EN FONCTION DE LA CHARGE HYDRAULIQUE.....	52
FIGURE 4.	PROFIL GLOBAL DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE DES STATIONS QUÉBÉCOISES EN FONCTION DE LA CHARGE HYDRAULIQUE.	53
FIGURE 5.	VARIATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ÉPURATOIRE (EEE) DES STATIONS QUÉBÉCOISES EN FONCTION DE LA CHARGE HYDRAULIQUE.....	55
FIGURE 6.	VARIATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ÉPURATOIRE (EEE) DES STATIONS QUÉBÉCOISES EN FONCTION DE LA CAPACITÉ ÉPURATOIRE.....	56
FIGURE 7.	PROFIL GLOBAL DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE DES STATIONS QUÉBÉCOISES EN FONCTION DE LA CAPACITÉ ÉPURATOIRE.....	57
FIGURE 8.	VARIATION DU FACTEUR DE POINTE DE PUISSANCE ÉLECTRIQUE DES STATIONS QUÉBÉCOISES EN FONCTION DE LA CHARGE HYDRAULIQUE.....	61
FIGURE 9.	VARIATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE HYDRAULIQUE (EEH) DES STATIONS AMÉRICAINES DE TYPE BOUES ACTIVÉES EN FONCTION DE LA CHARGE HYDRAULIQUE.	63
FIGURE 10.	VARIATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE HYDRAULIQUE (EEH) DES STATIONS AMÉRICAINES DE TYPE BIODISQUES EN FONCTION DE LA CHARGE HYDRAULIQUE.	63
FIGURE 11.	VARIATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE HYDRAULIQUE (EEH) DES STATIONS AMÉRICAINES DE TYPE BIOFILTRATION EN FONCTION DE LA CHARGE HYDRAULIQUE.	64
FIGURE 12.	PROFILS DIURNES DES CHARGES HYDRAULIQUE (A) ET ORGANIQUE (B) TRAITÉES PAR UNE STATION D'ÉPURATION AMÉRICAINNE TYPE.....	66
FIGURE 13.	PROFIL DIURNE TYPIQUE POUR UNE JOURNÉE D'HIVER SANS PRÉCIPITATION DE LA CHARGE HYDRAULIQUE TRAITÉE À L'USINE DE LA CUQ-EST.	67
FIGURE 14.	PROFILS DIURNES TYPIQUE POUR UNE JOURNÉE D'ÉTÉ ET D'HIVER SANS PRÉCIPITATION DE LA CHARGE HYDRAULIQUE À LA STATION D'ÉPURATION DE LA CUM. SYMBOLES : (E) JOURNÉE D'HIVER; (J) JOURNÉE D'ÉTÉ.	68
FIGURE 15.	PROFIL DIURNE DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE POUR UNE USINE-TYPE DE BOUES ACTIVÉES. SYMBOLES : (E) B. A. CONVENTIONNELLES - DÉBIT MOYEN; (J) B.A. CONVENTIONNELLES - DÉBIT VARIABLE; (G) B.A. AVANCÉES AVEC NITRIFICATION - DÉBIT MOYEN; (B) B.A. AVANCÉES AVEC NITRIFICATION - DÉBIT VARIABLE.	69
FIGURE 16.	PROFILS DIURNES TYPIQUE POUR UNE JOURNÉE D'ÉTÉ ET D'HIVER SANS PRÉCIPITATION DE LA DEMANDE DE PUISSANCE APPELÉE À LA STATION D'ÉPURATION DE LA CUM. SYMBOLES : (E) JOURNÉE D'HIVER; (J) JOURNÉE D'ÉTÉ.	70
FIGURE 17.	VARIATIONS DE LA CHARGE HYDRAULIQUE (A) ET DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE (B) AU COURS DE L'ANNÉE 1993 À LA STATION D'ÉPURATION DE LA CUM.	72
FIGURE 18.	FLUCTUATIONS DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE HYDRAULIQUE AU COURS DE L'ANNÉE 1993 À LA STATION D'ÉPURATION DE LA CUM.....	73

FIGURE 19.	VARIATIONS DE LA PUISSANCE APPELÉE ET DU FACTEUR DE POINTE DE PUISSANCE AU COURS DE L'ANNÉE 1993 À LA STATION D'ÉPURATION DE LA CUM.	74
FIGURE 20.	VARIATION HEBDOMADAIRE DE LA CHARGE HYDRAULIQUE ET DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE À LA STATION D'ÉPURATION DE LA CUM. .	75
FIGURE 21.	FLUCTUATION HEBDOMADAIRE DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE HYDRAULIQUE À LA STATION D'ÉPURATION DE LA CUM.	76
FIGURE 22.	VARIATION HEBDOMADAIRE DE LA PUISSANCE APPELÉE ET DU FACTEUR DE POINTE DE PUISSANCE À LA STATION D'ÉPURATION DE LA CUM.	77
FIGURE 23.	VARIATION MENSUELLE DE LA CHARGE HYDRAULIQUE ET DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE À LA STATION D'ÉPURATION DE LA CUM. .	78
FIGURE 24.	VARIATION MENSUELLE DE LA CHARGE HYDRAULIQUE ET DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE À LA STATION D'ÉPURATION DE PINCOURT. .	79
FIGURE 25.	VARIATION MENSUELLE DE LA CHARGE HYDRAULIQUE ET DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE À LA STATION D'ÉPURATION DE SAINT-ÉTIENNE.	79
FIGURE 26.	FLUCTUATION MENSUELLE DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE HYDRAULIQUE AUX STATIONS D'ÉPURATION DE LA CUM, DE PINCOURT ET DE SAINT-ÉTIENNE.	80
FIGURE 27.	VARIATION MENSUELLE DE LA PUISSANCE APPELÉE ET DU FACTEUR DE POINTE DE PUISSANCE À LA STATION D'ÉPURATION DE LA CUM.	81
FIGURE 28.	VARIATION MENSUELLE DE LA PUISSANCE APPELÉE ET DU FACTEUR DE POINTE DE PUISSANCE À LA STATION D'ÉPURATION DE PINCOURT.	82
FIGURE 29.	VARIATION MENSUELLE DE LA PUISSANCE APPELÉE ET DU FACTEUR DE POINTE DE PUISSANCE À LA STATION D'ÉPURATION DE SAINT-ÉTIENNE. .	82
FIGURE 30.	PROFIL DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE DES STATIONS QUÉBÉCOISES DE TYPE BOUES ACTIVÉES EN FONCTION DE LA CHARGE HYDRAULIQUE. .	86
FIGURE 31.	PROFIL DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE DES STATIONS QUÉBÉCOISES DE TYPE BOUES ACTIVÉES EN FONCTION DE LA CAPACITÉ ÉPURATOIRE. .	87
FIGURE 32.	PROFIL DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE DES STATIONS QUÉBÉCOISES DE TYPE BIODISQUES EN FONCTION DE LA CHARGE HYDRAULIQUE.	89
FIGURE 33.	PROFIL DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE DES STATIONS QUÉBÉCOISES DE TYPE BIODISQUES EN FONCTION DE LA CAPACITÉ ÉPURATOIRE.	90
FIGURE 34.	PROFIL DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE DES STATIONS QUÉBÉCOISES DE TYPE BIOFILTRATION EN FONCTION DE LA CHARGE HYDRAULIQUE.	92
FIGURE 35.	PROFIL DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE DES STATIONS QUÉBÉCOISES DE TYPE BIOFILTRATION EN FONCTION DE LA CAPACITÉ ÉPURATOIRE.	93
FIGURE 36.	PROFIL DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE DES STATIONS QUÉBÉCOISES DE TYPE ÉTANGS AÉRÉS EN FONCTION DE LA CHARGE HYDRAULIQUE.	95
FIGURE 37.	PROFIL DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE DES STATIONS QUÉBÉCOISES DE TYPE ÉTANGS AÉRÉS EN FONCTION DE LA CAPACITÉ ÉPURATOIRE.	96
FIGURE 38.	MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE TECHNICO-ÉCONOMIQUE DE MISE EN APPLICATION D'UNE MEEE.	154



Liste des Schémas

SCHÉMA 1.	DIAGRAMME GÉNÉRAL DU TRAITEMENT DES EAUX USÉES PAR UNE STATION DE TYPE BOUES ACTIVÉES.....	9
SCHÉMA 2.	DIAGRAMME SIMPLIFIÉ DE LA STATION D'ÉPURATION DE TYPE BOUES ACTIVÉES DE PINCOURT.	10
SCHÉMA 3.	DIAGRAMME GÉNÉRAL DU TRAITEMENT DES EAUX USÉES PAR UNE STATION DE TYPE BIODISQUES.	14
SCHÉMA 4.	FONCTIONNEMENT DU BIOFILTRE "BIOFOR".	16
SCHÉMA 5.	FONCTIONNEMENT DU BIOFILTRE "BIODROF".....	16
SCHÉMA 6.	FONCTIONNEMENT DU BIOFILTRE "BIOCARBONE".....	17
SCHÉMA 7.	DIAGRAMME SIMPLIFIÉ DE LA STATION D'ÉPURATION DE TYPE BIOFILTRATION DE LA CUQ.	18
SCHÉMA 8.	DIAGRAMME GÉNÉRAL DU TRAITEMENT DES EAUX USÉES PAR UNE STATION DE TYPE ÉTANGS AÉRÉS.	21
SCHÉMA 9.	DIAGRAMME SIMPLIFIÉ DE LA STATION D'ÉPURATION DE TYPE PROCÉDÉS PHYSICO-CHIMIQUES DE LA CUM.....	22

Introduction

Aux États-Unis, approximativement 1 à 3 % de la demande électrique est consacrée aux systèmes d'approvisionnement en eau potable et de traitement des eaux usées domestiques. Selon les études de l'Electric Power Research Institute (l'EPRI), les dépenses liées à la consommation énergétique représentent entre 20 et 35 % des budgets de fonctionnement affectés au traitement et à l'épuration des eaux (Burton Environmental Engineering *et al.*, 1993). Plus spécifiquement, Owen (1982) soutient que les coûts inhérents à la consommation électrique représentent près de 10 % des coûts totaux pour les stations d'épuration de type boues activées de faible capacité (< 3 786 m³/d) et peut constituer plus de 30 % du total, pour des stations de forte capacité (< 378 600 m³/d).

La consommation de l'énergie électrique dans les stations de traitement des eaux usées américaines a grandement augmenté au cours des dernières années et continuera d'augmenter au cours des prochaines années. Par exemple, on estime que durant les 20 prochaines années, les besoins en électricité dans le secteur de traitement des eaux usées augmenteront de 40 % pour atteindre le niveau de 25 milliards de kWh par année (Burton Environmental Engineering *et al.*, 1993). Ces besoins étaient de 10 milliards de kWh par année, en 1970, et de 17.5 milliards en 1990. Cette situation s'explique principalement par la nouvelle réglementation sur les rejets liquides dans le milieu récepteur. Ces mesures ont eu pour effet, l'augmentation du nombre de stations d'épuration possédant des systèmes épuratoires plus performants, de type traitement secondaire et avancé, indispensables pour respecter la nouvelle réglementation. De nombreuses unités de traitement des boues d'épuration ont également été installées au cours des dernières années pour faire face au problème aigu que pose la disposition des boues produites par les procédés d'assainissement des eaux usées. De plus, l'apparition sur les marchés de nouvelles technologies telles que la désinfection par ultraviolet (UV), la déshydratation des boues par utilisation de centrifugeuses à haut rendement ou de conditionnement électro-acoustique, auront aussi un impact important sur la consommation d'électricité. Les résultats des travaux de recherche sur la réduction de la consommation électrique dans les usines de traitement des eaux usées montrent que les systèmes de pompage et d'aération, ainsi que les procédés de traitement des boues constituent une portion considérable de la demande électrique globale (Andersson, 1980; Burton Environmental Engineering *et al.*, 1993; Ontario-Hydro, 1993b; Metcalf & Eddy Inc., 1992a, b; Middlebrooks *et al.*, 1981; Owen, 1982; WPCF et ASCE, 1988; Young et Koopman, 1991).

Depuis 1985 environ, diverses activités de recherche se sont intéressées aux diverses façons du juguler l'augmentation de la consommation d'énergie dans les usines de traitement des eaux usées. Leur objectif est de circonscrire

les approches administratives et de développer et implanter les mesures technologiques susceptibles d'intervenir sur la structure et sur le volume de la demande d'énergie. Ces différents travaux sont connus dans la majorité des cas sous l'appellation de *programme d'efficacité énergétique*.

Ces problèmes d'augmentation de la demande d'énergie et les besoins de solutions techniques et administratives pour gérer la demande se posent aussi au Canada et en Europe. Au niveau du Canada, une étude menée par Ontario-Hydro (1993b) indique que les nouvelles législations, les nouvelles politiques et directives en matières environnementales et la construction de nouvelles stations, occasionneront une augmentation d'environ 481 millions kWh par année, pour l'opération des stations d'épuration ontariennes, soit 61 % de plus par rapport à la consommation actuelle (788 millions kWh par année), et ce, pour les 10 à 20 prochaines années. Cette étude souligne aussi que l'introduction dans la réglementation d'une exigence pour une étape de nitrification¹ dans les systèmes d'épuration aura pour effet de hausser les besoins en aération de 50 à 75 %. De plus, l'obligation quasi totale d'opérer un traitement secondaire au niveau de toutes les stations de traitement, aura un effet notable sur la consommation d'électricité. Compte tenu de ces considérations, les gestionnaires sont de plus en plus intéressés à explorer les mécanismes susceptibles de réduire la consommation globale d'électricité et les pointes de demande, aspects qui ont un impact considérable sur les coûts d'opération des procédés d'assainissement des eaux.

Si aux États-Unis ou en Ontario on a déjà procédé à la réalisation d'études de diagnostic sur la demande énergétique pour l'épuration des eaux usées municipales, aucune étude détaillée n'a, jusqu'à maintenant, été consacrée à l'évaluation de la consommation énergétique dans les stations d'épuration des eaux usées au Québec. Hydro-Québec a mandaté l'INRS-Eau pour analyser la situation particulière du Québec en cette matière. Son objectif est de réunir l'information d'assise pour élaborer un programme portant sur l'efficacité énergétique reliée au secteur de l'eau, et touchant notamment à l'assainissement des eaux usées domestiques.

Le présent rapport de recherche, le Volume 3 d'une série de cinq rapports sur la gestion de la demande d'électricité dans les industries de l'eau au Québec, traite spécifiquement des divers aspects touchant à la consommation énergétique des ouvrages québécois d'assainissement des eaux usées. Le *premier chapitre* présente une description technique et schématisée des principaux procédés employés dans les ouvrages d'assainissement des eaux usées municipales. Cette présentation porte sur l'ensemble des étapes de la

¹ La nitrification consiste en l'oxydation de l'ammoniac et des nitrites dissous dans les eaux en nitrates, par l'action des microorganismes. Ce processus est habituellement obtenu dans les bassins d'aération où l'âge des boues est élevé.

chaîne de traitement des eaux usées municipales, soit le prétraitement, le traitement primaire, secondaire et tertiaire, ainsi que le traitement et l'élimination des boues produites.

Le *second chapitre* fait le point sur l'état d'avancement du programme québécois d'assainissement des eaux usées (PAEQ) mis en place au début des années 80'. Les données présentées font ressortir les relations existantes actuelles et anticipées, entre la population desservie, la répartition des stations en fonction des débits et des types de traitement opérés.

Le *troisième chapitre* discute du rendement épuratoire des stations d'épuration, et ce, en fonction du type de traitement employé, de la charge hydraulique (débit d'eaux usées) et de la charge organique à épurer (DBO_5 , MES et P_{tot}). La performance épuratoire mesurée dans les ouvrages d'assainissement est également traitée en relation avec les exigences émises par le Ministère de l'environnement du Québec (MEF) et les critères de design utilisés lors de la conception de ces installations.

Le *quatrième chapitre* aborde les questions associées à la demande électrique. Il brosse tout d'abord un profil global de la consommation énergétique québécoise associée à l'épuration des eaux usées municipales. Ensuite, la consommation électrique totale du parc de stations d'épuration est discutée en fonction de la population desservie, de la charge hydraulique et organique, et de la performance épuratoire globale des ouvrages d'assainissement des eaux. Par ailleurs, le portrait général de la consommation électrique québécoise est confronté aux profils mesurés à l'étranger, et sert également à extrapoler la consommation énergétique future au Québec. Enfin, l'importance des fluctuations diurne, journalière, hebdomadaire et saisonnière de la demande est également examinée, et ce, à partir des données recueillies au Québec, ainsi que des recherches menées à l'étranger.

L'*efficacité énergétique épuratoire* (EEE), un concept clé de l'évaluation de la performance électrique des stations d'épuration municipales, constitue la base de l'analyse présentée au *cinquième chapitre*. Ainsi, la consommation électrique des ouvrages d'assainissement québécois est traitée, dans un premier temps, en fonction des divers types de procédés utilisés pour le traitement des eaux usées. Par la suite, une analyse plus fine fait ressortir les variations observables entre l'EEE des stations de même type. L'efficacité énergétique épuratoire est explorée en regard de la consommation électrique par rapport à la charge hydraulique et organique, ainsi que par rapport à l'efficacité épuratoire des ouvrages d'assainissement, c'est-à-dire par rapport à l'enlèvement de la DBO_5 , MES et P_{tot} .

Le *sixième chapitre* traite du rôle de la configuration des procédés d'épuration et des équipements électriques utilisés dans les procédés d'assainissement, en rapport à la consommation électrique. En particulier,

l'importance de chaque étape de traitement dans le bilan de consommation énergétique est discutée, et ce, pour chaque type de procédés d'épuration employé. Cette étude est accomplie à partir des données techniques tirées de la littérature internationale.

Pour faite suite, le *septième chapitre* présente une analyse détaillée de la consommation électrique dans quatre stations d'épuration québécoises avec des types différents de traitement des eaux usées : 1) la station de type boues activées de Pincourt; 2) la station de type biofiltration de la CUQ; 3) la station de type étangs aérés de Sainte-Étienne-de-Lauzon et 4) la station de type physico-chimique de la CUM.

Enfin, le *dernier chapitre* a été réservé à la formulation des recommandations portant sur les mesures opératoires d'efficacité énergétique et technologique devant être privilégiées. Ceci a été fait en tenant compte de la situation particulière dans laquelle se retrouve le parc des ouvrages d'assainissement des eaux usées au Québec. De même, un effort a été consenti à l'identification des domaines d'intérêt pour la R & D dans le secteur de l'efficacité énergétique pour l'épuration des eaux usées municipales.

1. Description générale des ouvrages d'assainissement des eaux usées municipales

Les ouvrages d'assainissement se définissent comme l'ensemble des équipements assurant l'acheminement et l'assainissement des eaux usées. Les ouvrages d'assainissement municipaux sont dénombrés sur la base des systèmes de traitement et comprennent, dans chaque cas, la station d'épuration ainsi que le réseau d'égouts de collecte et d'interception (incluant les postes de pompage, les régulateurs de débit et les ouvrages de surverse). Ces systèmes desservent les occupants d'un territoire donné : la population résidentielle, les commerces, les institutions et certaines industries raccordées au réseau d'égouts.

La station d'assainissement des eaux usées est généralement constituée d'une série d'installations, chacune accomplissant une fonction déterminée dans le procédé. De façon générale, comme le montre le schéma général de traitement des eaux usées, on retrouve les unités suivantes : 1) *prétraitement* des eaux usées, 2) *traitement primaire* (chimique ou physique), 2) *traitement secondaire* (destiné à l'élimination des matières organiques dissoutes ou à l'élimination des matières en suspension), 3) *traitement tertiaire*, et finalement, 4) *traitement et élimination des boues*. Les sections qui suivent présentent une synthèse des diverses techniques employées pour le traitement des eaux usées municipales. Une description plus détaillée est disponible dans les ouvrages d'assainissement des eaux (Degrémont et Lyonnaise des Eaux, 1989; Eckenfelder, 1982; WPCF, 1985).

1.1 Le prétraitement

Les différents procédés utilisés pour le prétraitement des eaux usées varient d'une station à une autre. Ils dépendent des caractéristiques des eaux et des usages ultérieurs qu'on fera de l'effluent et/ou des boues. Dans une séquence normale, on retrouve généralement les opérations suivantes :

- 1) le *dégrillage* et le *tamissage*, utilisés pour débarrasser les eaux usées des matières en suspension de grandes dimensions avant tout autre procédé de traitement;
- 2) le *déchetage*, *broyage* ou *dilacération*, réduisant la granulométrie des détritiques flottants de façon à rendre possible le rejet de ces derniers dans les eaux usées ou à les conditionner avant incinération;
- 3) le *dessablage*, permettant l'enlèvement des matières sablonneuses présentes dans les eaux usées;

- 4) l'*écumage* et la *flottation*, destinés à séparer sous forme de boues flottantes, les substances légères, solides et liquides de densité plus faible (huiles, graisses, etc.) et retenues en surface pour un éventuel raclage;
- 5) l'*égalsation* des eaux usées, destinée à diminuer et à contrôler les variations des caractéristiques des eaux usées en vue de se situer dans des conditions optimales pour le traitement subséquent;
- 6) la *neutralisation* des eaux usées, dans le but de maintenir un pH donné permettant une meilleure performance des procédés secondaires biologiques.

1.2 Le traitement primaire

Le traitement primaire des eaux usées consiste principalement en une étape de *sédimentation*, appelée également *décantation primaire*. Ce traitement simple élimine les matières solides finement dispersées par formation d'un floc avec des particules plus grosses. Cette étape permet également l'élimination des matières colloïdales par adsorption sur des particules grossières et aussi l'enlèvement des matières flottantes. La décantation primaire permet de plus à équilibrer la charge des eaux usées en les faisant séjourner dans un bassin. Ce traitement est parfois précédé d'une étape de pré-aération ou de floculation (mécanique ou chimique) afin d'améliorer l'efficacité du décanteur primaire.

1.3 Le traitement secondaire

Le principal objectif du traitement secondaire est la réduction de la concentration de matières organiques colloïdales et dissoutes dans les eaux usées. La majorité des procédés de traitement secondaire au niveau municipal sont de nature biologique. Deux grandes catégories de traitement biologique sont utilisées. Il s'agit des procédés sur pellicule fixe et des procédés en boues. Dans les systèmes à pellicule fixe, dont le lit bactérien et les disques biologiques, les microorganismes sont fixés à un support solide. Par contre, dans le cas de procédés en boues, tels que les divers systèmes de boues activées et de lagunage, une population hétérogène et indigène de microorganismes emploie, en présence d'oxygène moléculaire, la matière organique et les éléments nutritifs retrouvés dans les eaux usées. Ils assurent ainsi leur survie et leur reproduction. Les principaux types de traitement secondaire des eaux usées sont présentés dans les sections suivantes.

1.3.1 Boues activées

Généralement, le procédé de traitement par boues activées consiste en un bioréacteur (un bassin de boues activées) alimenté en continu, dans lequel la biomasse est brassée et aérée en même temps que les eaux usées. La

biomasse produite est ensuite séparée dans un décanteur secondaire. Ce processus est utilisé pour transformer les matières organiques non décantables, c'est-à-dire les matières se retrouvant sous formes dissoute, ou en suspension sous forme de particules fines, colloïdales. Ces transformations aboutissent à la formation de floccs biologiques (boues) par coagulation mutuelle des bactéries avec d'autres matières en suspension et colloïdales. Ces floccs assurent à leur tour la transformation des nouveaux apports de matière organique. Dans ce procédé de purification, pour assurer un approvisionnement suffisant de flocc préformé possédant les caractéristiques désirées d'adsorption et de décantation, une certaine quantité de boues séparées et décantées doit être renvoyée dans le bassin d'aération. Cette portion est appelée, boues activées de retour. Étant donné que la quantité des boues activées s'accroît de manière constante au fur et à mesure que les matières organiques sont transformées et que les microorganismes augmentent continuellement, il est nécessaire d'enlever une portion des boues produites (boues secondaires).

D'une manière générale, les meilleures performances du procédé sont atteintes en maintenant un âge des boues ou un rapport F/M (kg DBO₅/kg MESV) favorable et en réduisant les variations de la charge à traiter. La qualité de l'effluent est liée à la charge massique du procédé. Si l'âge des boues est trop faible, il y a un risque de développement de bactéries filamenteuses ou d'une croissance dispersée de la biomasse, provoquant une mauvaise décantabilité des boues et une perte importante de matières en suspension dans l'effluent. Ce problème conduit à une augmentation de la DBO₅ de l'effluent. Le procédé par boues activées peut fournir un effluent dont la DBO₅ soluble variera de 10 à 30 mg par litre; la DCO résiduelle peut être aussi élevée que 500 mg par litre, selon de la teneur en matières organiques inertes des eaux usées.

Boues activées conventionnelles

Plusieurs variantes du procédé de traitement par boues activées sont opérationnelles au Québec. Le procédé conventionnel fait appel à de longs bassins rectangulaires, où l'écoulement est du type piston avec un certain mélange longitudinal. Les boues recyclées sont réintroduites dans une chambre de mélange située en tête du bassin. La liqueur mixte traverse le bassin et subit une épuration progressive. La cinétique de respiration des boues est très élevée au début du bassin, puis diminue en fonction de la durée d'aération. Si l'épuration est totale, la demande en oxygène en fin de bassin est uniquement due à la respiration endogène des boues. L'apport d'oxygène nécessaire à l'activité biologique dans les bassins, se fait par deux techniques : 1) l'injection d'air surpressé par des diffuseurs (fines ou grosses bulles) placés au fond des bassins, ou 2) l'utilisation d'aérateurs mécaniques de surface. Le Schéma 1 montre les différentes étapes du système classique de traitement par boues

activées, alors que le Schéma 2 présente le diagramme de procédés employé à la station d'épuration de Pincourt².

La diversité des conditions rencontrées dans le traitement des eaux usées a favorisé le développement de différentes variantes du système classique de boues activées. On rencontre maintenant les systèmes de boues activées suivants : a) le procédé à *aération étagée*; b) le procédé de *stabilisation par contact*; c) le procédé *Kraus*; d) le procédé *Hatfield*; e) le procédé à *mélange homogène*; f) le procédé à *forte charge*; g) le procédé à *aération prolongée* et h) le procédé à *l'oxygène pur*.

² Cette station, de dimension moyenne (7 878 m³/d), a d'ailleurs fait l'objet d'une analyse approfondie dans le cadre de ce projet.

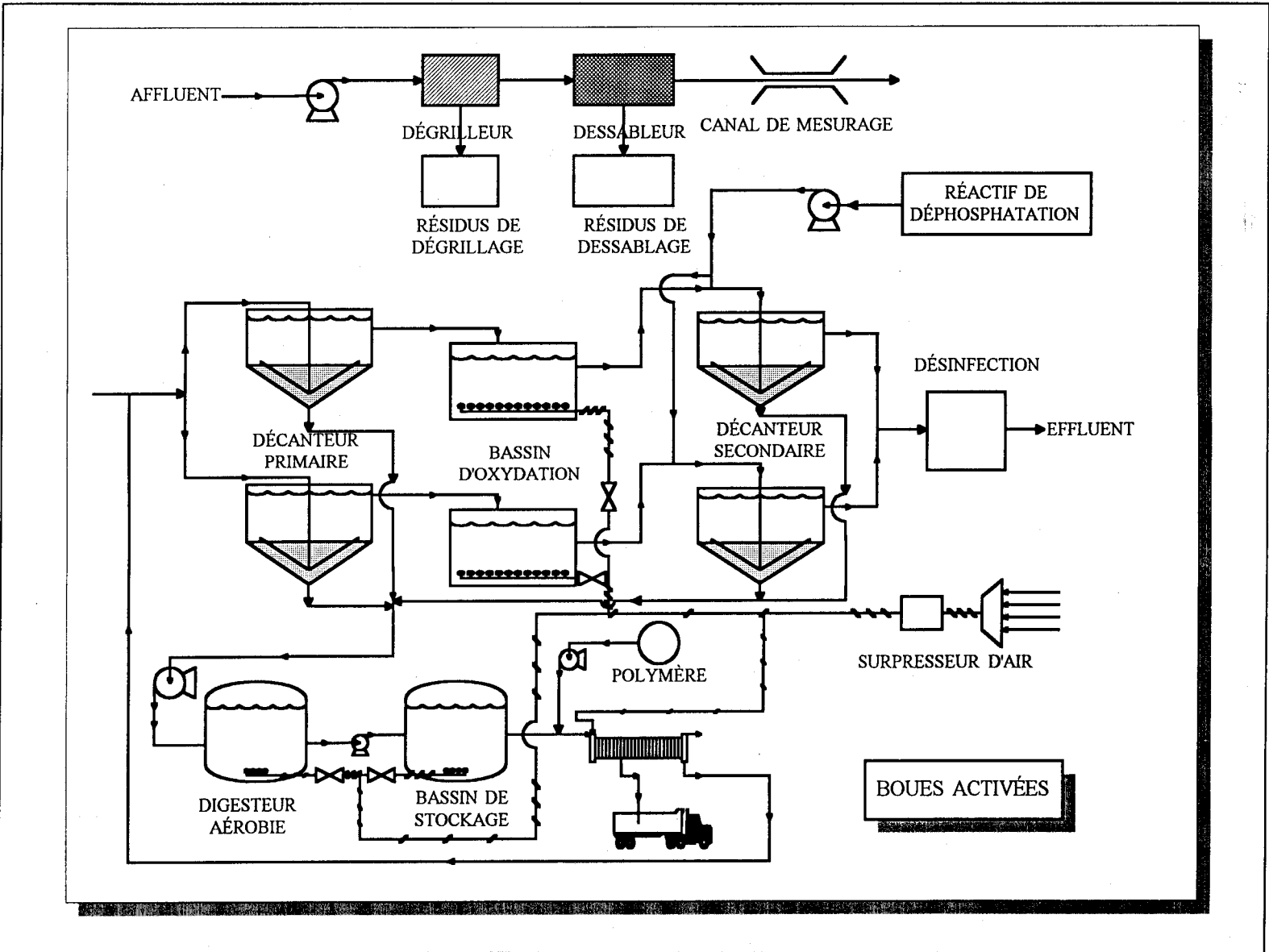


Schéma 1. Diagramme général du traitement des eaux usées par une station de type boues activées.

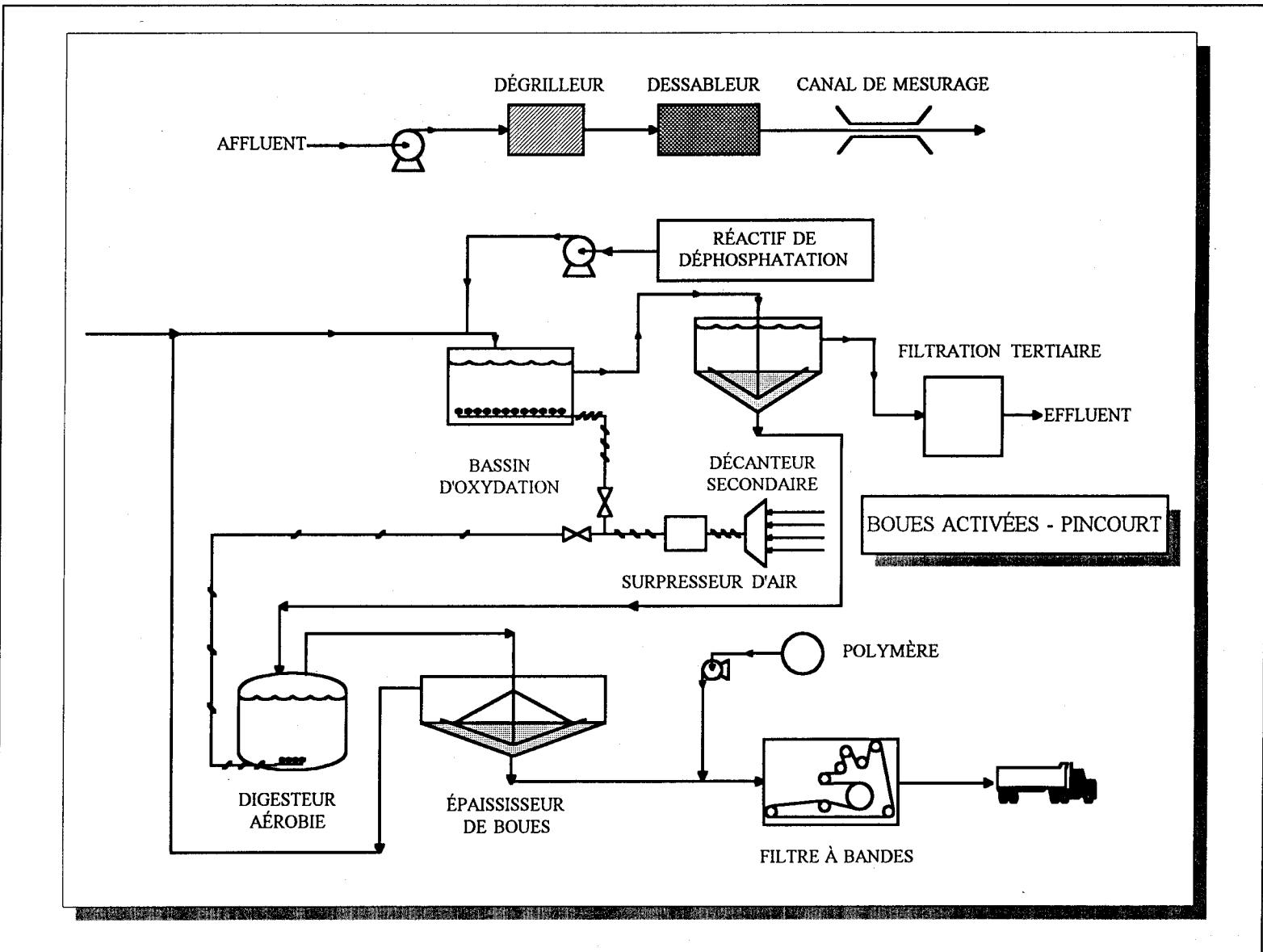


Schéma 2. Diagramme simplifié de la station d'épuration de type boues activées de Pincourt.

Selon les conditions rencontrées et les exigences de rejets, des variantes plus complexes peuvent être employées. Par exemple, l'élimination complète de l'azote peut être réalisée dans un système multi-étapes avec addition d'une source de carbone pour réaliser la dénitrification³, ou dans un système unique, avec utilisation de carbone endogène pour la dénitrification. Une liste de ces différentes variantes est présentée ci-dessous :

- Boues activées en trois étapes (élimination de la DBO, nitrification, dénitrification);
- Boues activées en deux étapes (élimination de la DBO + nitrification, dénitrification);
- Boues activées à une étape (élimination de la DBO + nitrification + dénitrification);
- Boues activées avec zone aérobie et anaérobie dans le réacteur assurant la dénitrification;
- Boues activées à une étape, avec bassin intermédiaire de dénitrification;
- Boues activées à une étape, précédé d'un bassin de dénitrification;
- Boues activées à une étape, précédé et suivi par un bassin de dénitrification;
- Boues activées avec dénitrification simultanée mais précédé d'un bassin de dénitrification.

Les procédés comprenant une étape de nitrification et/ou dénitrification, ou encore, un enlèvement biologique du phosphore sont appelés "*procédés biologiques avancés*". Ces techniques plus performantes sont de plus en plus employées à travers le monde. Avant de passer aux autres types de traitement secondaire, examinons deux variantes particulières des systèmes de boues activées largement employées, et qui ont un impact important sur la demande électrique des stations d'épuration.

Boues activées à aération prolongée

Le procédé à aération prolongée utilise le même fonctionnement que le procédé classique, mais le temps de rétention dans le bassin est suffisamment élevé (12 heures ou plus) pour que l'oxydation de la partie biodégradable de la biomasse synthétisée soit pratiquement complétée. Cette variante du procédé

³ La dénitrification est réduction des nitrates dissous dans l'eau en azote moléculaire par l'action des microorganismes.

de boues activées permet également une étape de nitrification, et peut aussi inclure une phase de dénitrification, si des zones anaérobies sont incluses dans les réacteurs. L'âge des boues est également nettement plus élevé que dans le cas des systèmes conventionnels de boues activées. Le procédé opère dans la phase endogène de croissance, au cours de laquelle la nourriture restante n'est pas suffisante dans le système pour alimenter tous les microorganismes présents. Les microorganismes sont donc en forte compétition pour la nourriture restante et utilisent leur propre structure cellulaire pour se nourrir. Cette phase très compétitive et autodestructrice entraîne un traitement intensif avec une faible production des boues. Les principaux désavantages de ce système sont la demande élevée en oxygène par unité d'eaux usées entrant dans la station et le volume important du bassin nécessaire pour stocker les eaux résiduaires pendant la période prolongée.

Boues activées à l'oxygène

Ce procédé de traitement utilise un système couvert de bassins d'aération étagés. Les eaux usées, les boues de retour et le gaz d'alimentation de l'oxygène passent par la première étape de ce système et s'écoulent concurremment dans le bassin. Les bassins dans ce système sont couverts pour retenir l'oxygène et permettre une meilleure utilisation de ce gaz. La pression du gaz dans le bassin d'oxygénation est maintenue à la pression atmosphérique, une valeur de type 25 à 100 mm de pression d'eau. Cette légère pression suffit à contrôler le passage du gaz dans les bassins et empêcher le mélange en retour. Le flux du gaz d'alimentation de l'oxygène dans ce système est automatiquement contrôlé au moyen d'un signal de pression dans le bassin d'oxygénation, réduisant au minimum la déperdition en ne fournissant qu'une quantité suffisante d'oxygène pour répondre aux besoins du système biologique. La dissolution de l'oxygène et le mélange des matières solides sont accomplis soit avec des aérateurs de surface, soit avec des diffuseurs immergés à grosses bulles. *Un avantage important de ce procédé est la réduction significative de la demande électrique suite à la diminution de la quantité de gaz à injecter dans les bassins d'oxydation (meilleure utilisation de l'oxygène que par utilisation d'air surpressé). Il faut toutefois considérer la quantité appréciable d'énergie requise pour la préparation de l'oxygène pur.*

1.3.2 Biodisques

Un disque biologique est un dispositif de traitement (biologique) à pellicule fixe, utilisant des milieux filtrants rotatifs en plastique. Le milieu filtrant du disque est souvent fabriqué de feuilles de polyéthylène ou de polystyrène à densité élevée. Les feuilles sont thermoscellées et fixées à des arbres horizontaux pouvant atteindre jusqu'à 7 ou 8 m et supporter des disques de 3 à 4 m de diamètre, développant ainsi une surface pouvant atteindre 10 000 m². L'espacement entre les feuilles sert de zone de distribution des eaux usées et de l'air. Dans ce système de traitement, les disques biologiques, souvent disposés en série, sont précédés d'un traitement primaire et suivis d'une décantation secondaire. Le Schéma 3 illustre le mode de fonctionnement des biodisques rotatifs.

Sur le plan opérationnel, le disque est partiellement immergé dans les eaux usées. Au fur et à mesure qu'il tourne, celui-ci transporte une pellicule d'eaux usées dans l'air. Celles-ci ruissellent le long de la surface du disque et absorbent l'oxygène de l'air. Les organismes de la biomasse utilisent ensuite l'oxygène dissous et la matière organique de cette pellicule ruisselante. Une partie de la biomasse produite se détache du support filtrant et se retrouve dans l'effluent à épurer. Les matières solides biologiques qui se détachent sont gardées en suspension grâce au brassage des surfaces rotatives. Lorsque les eaux usées quittent le système, les solides doivent être séparées et traitées comme des boues. La séparation des matières solides se fait habituellement dans un décanteur secondaire. Ce dernier doit permettre l'obtention d'un taux élevé d'élimination des matières organiques. La collecte et l'élimination des boues doivent être planifiées pour empêcher l'apparition de conditions septiques. En ce qui concerne la consommation en énergie électrique, on note une augmentation très rapide de celle-ci en fonction de la vitesse de rotation des disques.

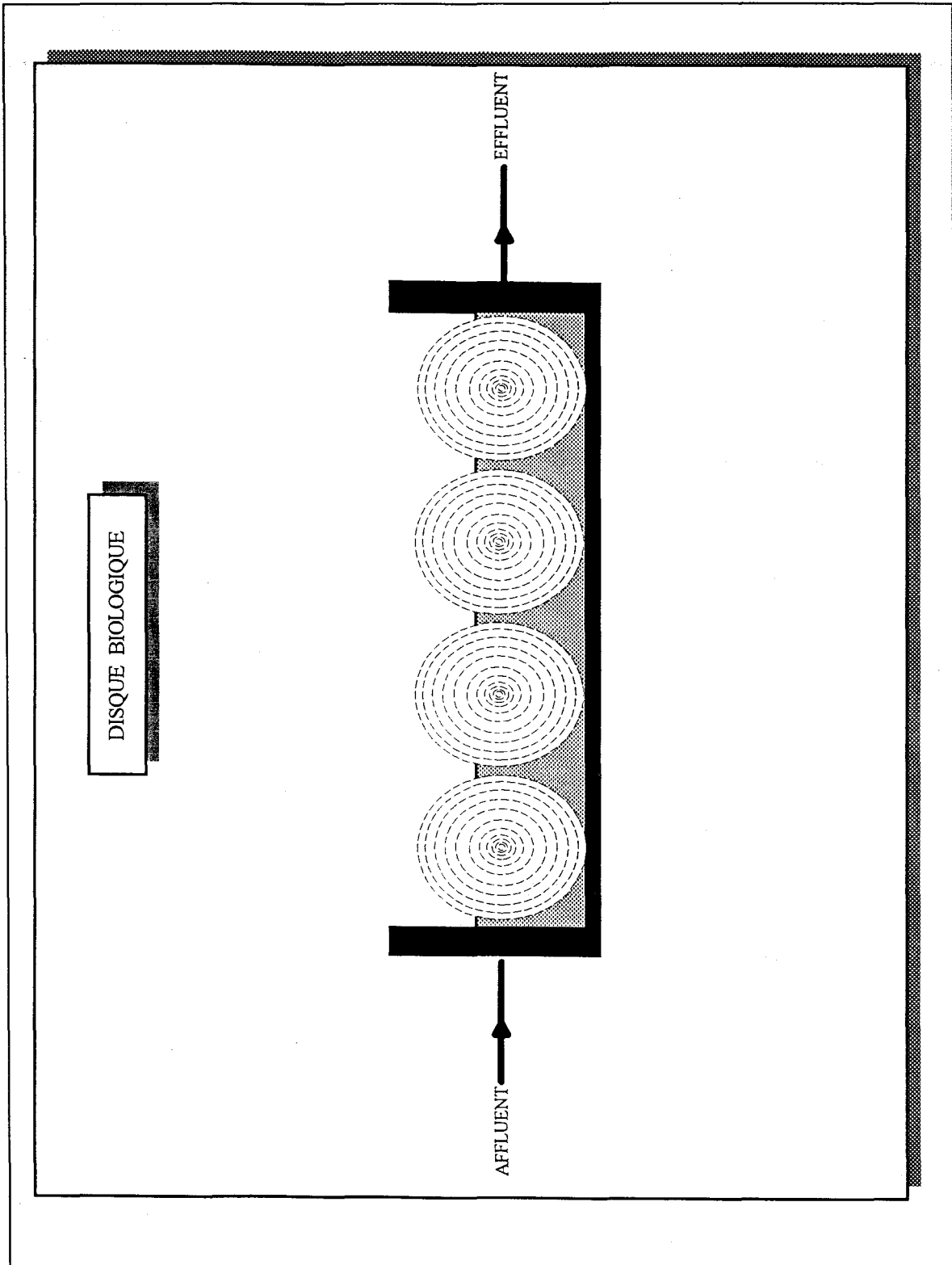


Schéma 3. Diagramme général du traitement des eaux usées par une station de type biodisques.

1.3.3 Biofiltration

Les biodisques ne sont pas la seule technologie de cultures bactériennes fixées employées pour l'épuration des eaux usées. En effet, on retrouve couramment deux autres groupes de procédés de biomasse fixée, soit les *lits bactériens* (également appelés lits de percolation, filtres bactériens et parfois biofiltres) qui sont utilisés depuis très longtemps et les *biofiltres aérobies* qui sont issus de développement récent. Examinons donc brièvement ces deux principes de traitement des eaux usées.

Lit bactérien

Comme système de traitement biologique, les lits bactériens sont normalement constitués d'un milieu filtrant naturel ou synthétique de granulométrie variant entre 3 et 15 cm et d'une profondeur pouvant aller jusqu'à 5 ou 6 mètres. Les eaux usées sont déversées sur le lit à une vitesse contrôlée engendrant un contact étroit entre le rejet, les microorganismes et l'oxygène, produisant ainsi des modifications chimiques, physiques et biologiques (purification) dans les eaux usées déversées. Ce système de traitement est habituellement précédé d'un décanteur primaire et suivi d'un décanteur secondaire nécessaire pour l'enlèvement de la biomasse se détachant du lit. Les lits bactériens sont des procédés essentiellement conçus pour l'enlèvement de la pollution soluble. Les lits bactériens sont largement employés aux États-Unis. Les conditions climatiques ont empêché la diffusion de cette technologie au Québec.

Biofiltration aérobie

La biofiltration aérobie, qui allie dans un même réacteur l'enlèvement de la pollution soluble et particulaire, est une technologie relativement récente. Bien que celle-ci soit, à l'heure actuelle, largement utilisée en Europe, son application en Amérique du Nord, particulièrement au Québec, est considérée comme innovatrice. La biofiltration aérobie se distingue essentiellement par les éléments suivants : la biomasse se développe sur un support granulaire fin (2 à 6 mm). L'eau à traiter est littéralement filtrée à travers le lit et entre en contact avec la microflore fixée. Contrairement aux lits bactériens, le biofilm ne se détache pas par lui-même, un lavage hydropneumatique du milieu filtrant doit être effectué régulièrement. Les biofiltres aérobies peuvent être regroupés en trois procédés : 1) *Biofor*, 2) *Biodrof* et 3) *Biocarbone*. Les Schémas 4 à 6 illustrent le principe de fonctionnement de ces trois types de biofiltres.

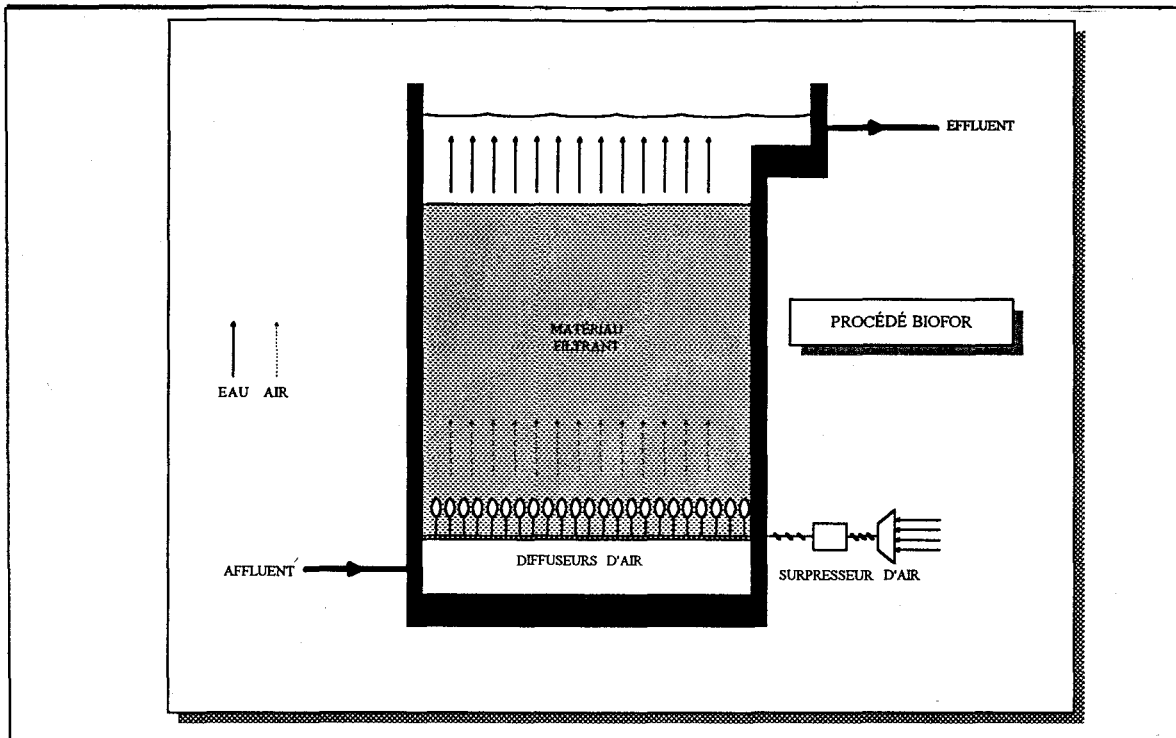


Schéma 4. Fonctionnement du biofiltre "Biofor".

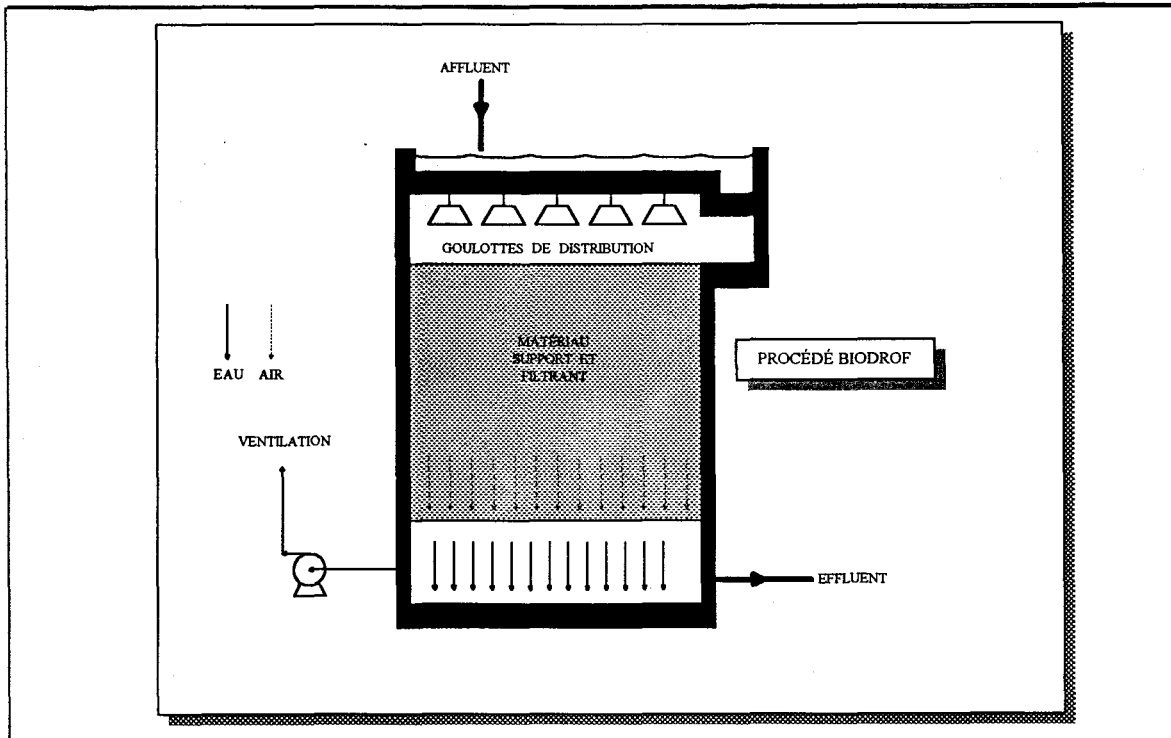


Schéma 5. Fonctionnement du biofiltre "Biodrof".

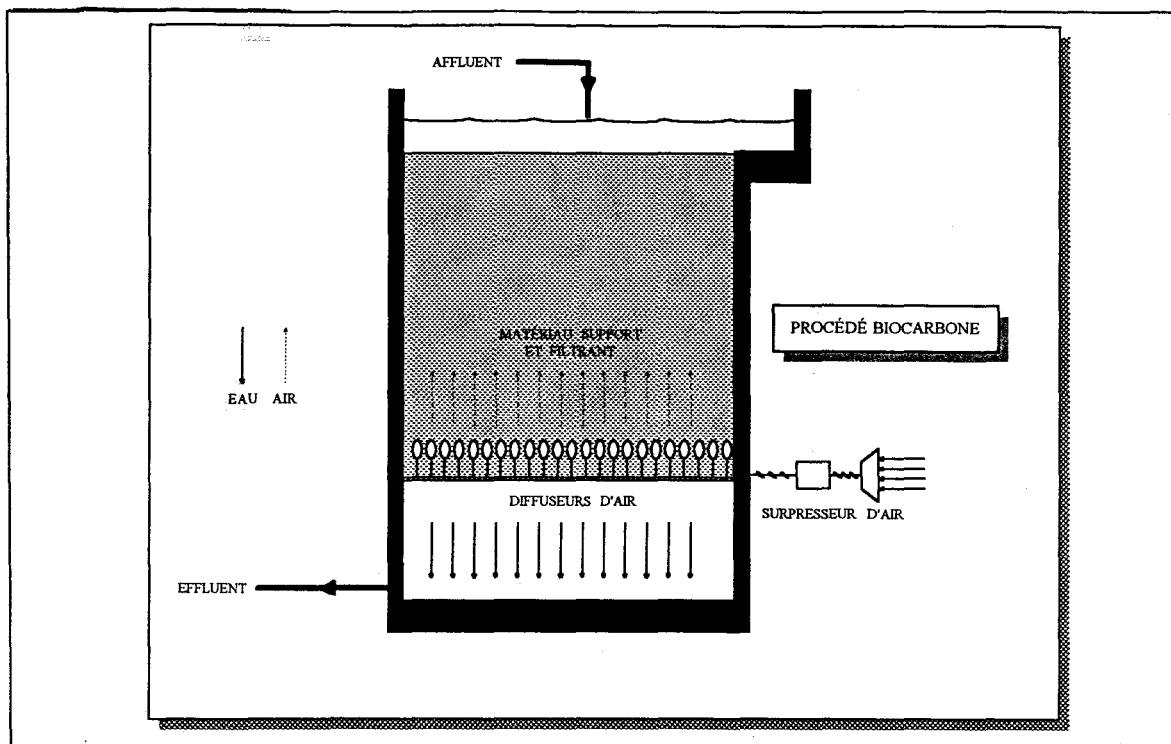


Schéma 6. Fonctionnement du biofiltre "Biocarbone".

L'écoulement de l'eau en biofiltration est en mode gravitaire. Il peut être descendant (procédés *Biocarbone* et *Biodrof*) ou ascendant (procédé *Biofor*). Les biofiltres fonctionnent soit en milieu ruisselant (procédé *Biodrof*) ou submergé (procédés *Biocarbone* et *Biofor*). L'aération du système peut être à co-courant de l'écoulement de l'eau (procédés *Biofor* et *Biodrof*) ou à contre-courant (procédé *Biocarbone*).

Le Schéma 7 présente un exemple important d'application de la biofiltration aérobie dans une chaîne de traitement des eaux usées au Québec. Il s'agit des stations de la CUQ-Est et CUQ-Ouest d'une capacité totale 388 000 m³/d. Ces stations d'épuration emploient des biofiltres de type "Biodrof". Cette technologie a été développée en Allemagne au début des années 70.

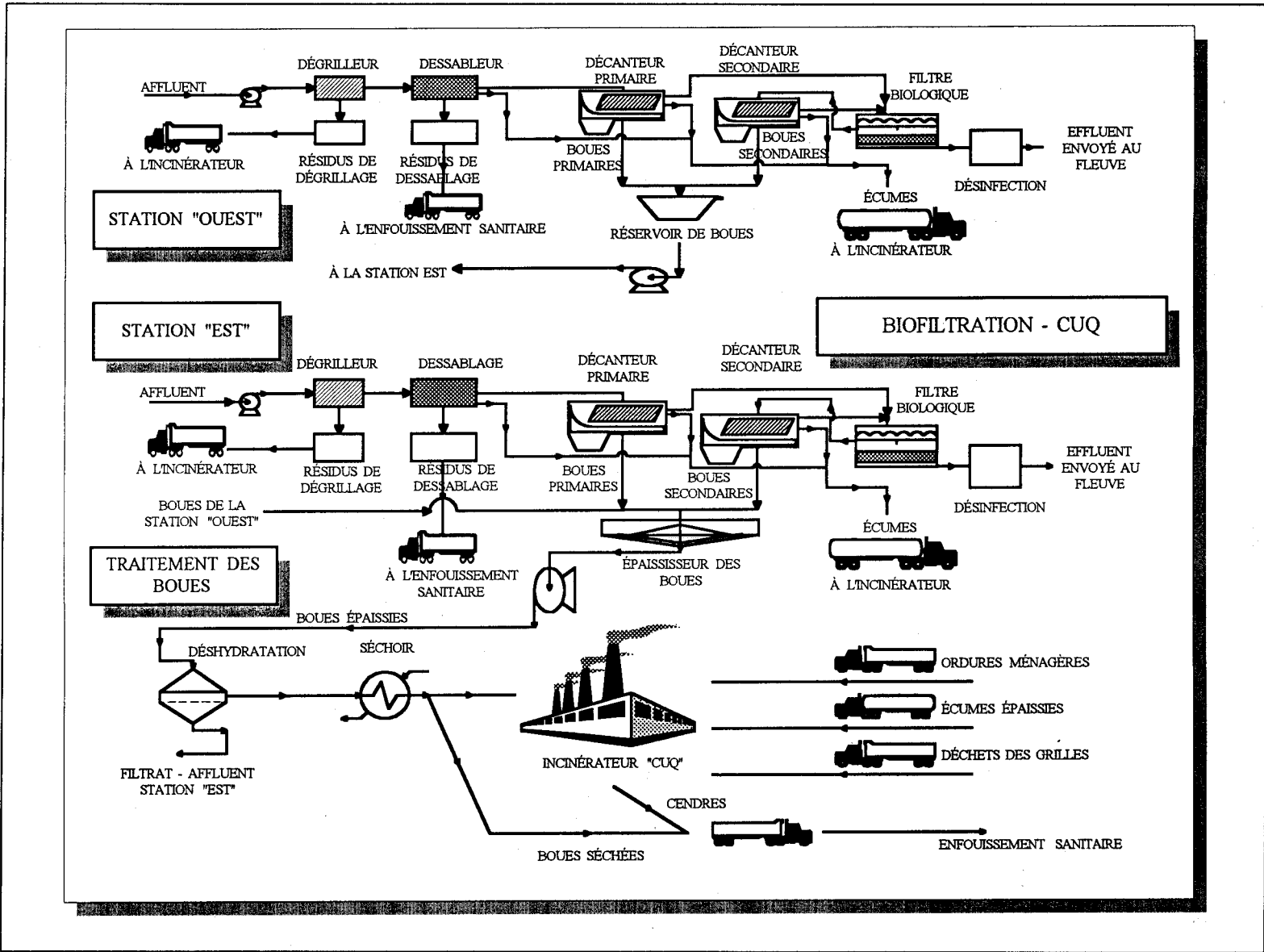


Schéma 7. Diagramme simplifié de la station d'épuration de type biofiltration de la CUQ.

1.3.4 Lagunage

Le lagunage est une forme souple et relativement peu coûteuse de traitement biologique des eaux usées, couramment utilisée aux États-Unis et au Canada. Le lagunage peut être classé en deux classes principales : le lagunage par *étangs (bassins) de stabilisation* et le lagunage par *étangs aérés*.

Bassins de stabilisation (étangs non-aérés)

Les bassins de stabilisation peuvent être regroupés en deux types : les bassins de stockage et d'infiltration, et les lagunes à écoulement. Dans le premier type, les eaux à traiter sont disposées dans des bassins dans lesquels aucun rejet n'a lieu; les eaux s'infiltrent dans le sol ou s'évaporent. Les étangs à écoulement peuvent, quant à eux, être classés en trois groupes : 1) *étangs aérobies à algues*, 2) *étangs facultatifs* et 3) *étangs anaérobies*.

L'étang aérobie à algues est un bassin peu profond contenant environ 0.2 à 0.5 m de liquide. Les contaminants organiques contenus dans les eaux sont dégradés par les bactéries aérobies et facultatives. L'oxygène dissous nécessaire à l'oxydation des matières organiques provient du transfert d'oxygène entre l'air et la surface de l'eau, ainsi que des algues photosynthétiques.

Les étangs facultatifs ont une profondeur variant entre 1 et 2 m, ce qui permet l'obtention d'une couche aérobie en surface et d'une couche anaérobie dans le fond du bassin. En général, dans un étang facultatif, les matières décantent, puis se déposent au fond du bassin où elles subissent une dégradation anaérobie, avec production de méthane et d'autres composés réduits. Ces derniers migrent vers la couche aérobie où ils sont oxydés.

Un *étang* conçu pour fonctionner en *anaérobie* a habituellement entre 2.5 et 5 m de profondeur. La dégradation des matières organiques s'effectue en deux phases anaérobies. La première phase consiste en l'hydrolyse des composés organiques en composés à courte chaîne (acides carboxyliques). Lors de la deuxième phase, ces composés intermédiaires sont transformés en gaz tels que le méthane, le dioxyde de carbone et le sulfure d'hydrogène.

Étangs aérés

De manière générale, un *étang aéré* est un bassin relativement profond, de 2.4 à 4.8 m dans lequel l'oxygénation est réalisée par des aérateurs mécaniques ou à diffuseur et par aération naturelle. Il existe deux types d'étangs aérés : l'*étang aéré aérobie* dans lequel l'oxygène et les matières en suspension sont uniformément répartis dans tout le bassin et l'*étang aéré aérobie-anaérobie* ou *aéré facultatif* dans lequel l'oxygène n'est présent que dans les couches supérieures et dans lequel, seule une partie des matières solides est maintenue en suspension. Dans un étang aérobie, les solides sont maintenus en

suspension. Dans un étang facultatif, une partie des matières en suspension décante au fond du bassin ou elle entre en fermentation anaérobie. Les métabolites de cette digestion sont ensuite oxydés dans les couches supérieures aérobies. Le Schéma 8 montre une configuration typique d'un système de traitement des eaux usées par étangs aérés.

1.3.5 Procédés physico-chimiques

Généralement, le traitement physico-chimique permet l'élimination de matières polluantes non épurées par les procédés biologiques conventionnels (boues activées, biodisques, biofiltres, bassins de stabilisation, etc.). Il vise essentiellement l'élimination des matières en suspension, de la DBO_5 (généralement inférieure à 10-15 mg/l), des composés organiques réfractaires (évalués usuellement par la DCO et le COT), des nutriments (azote et phosphore), des métaux lourds et des sels inorganiques. Bien qu'il existe beaucoup de combinaisons différentes possible de procédés, toutes les approches de conception des stations physico-chimiques utilisent les mêmes procédés de base, c'est à dire la coagulation, la décantation, la filtration et l'adsorption sur charbon. Certains systèmes incluent également un procédé d'élimination de l'azote. La combinaison choisie des procédés est fonction de la qualité des eaux usées et des exigences de rejets.

Dans le cas de la station d'épuration des eaux usées de la Communauté Urbaine de Montréal (CUM versants nord et sud), le traitement physico-chimique est employé pour réduire le phosphore dans les effluents, ainsi que pour hausser le rendement global de la décantation primaire (Schéma 9). Il est important de préciser que le phosphore, sous ses différentes formes chimiques, cause de sérieux problèmes dans les cours d'eau et les eaux dormantes qui les reçoivent en stimulant la croissance des algues (eutrophisation). Le procédé comprend l'ajout d'un coagulant (le chlorure ferrique) et d'un flocculant (un polymère cationique) en vue de former un floc facilement séparable. Ce traitement physico-chimique permet une réduction moyenne annuelle de 80 % des matières en suspension, 55 % de la demande biochimique en oxygène et 75 % du phosphore.

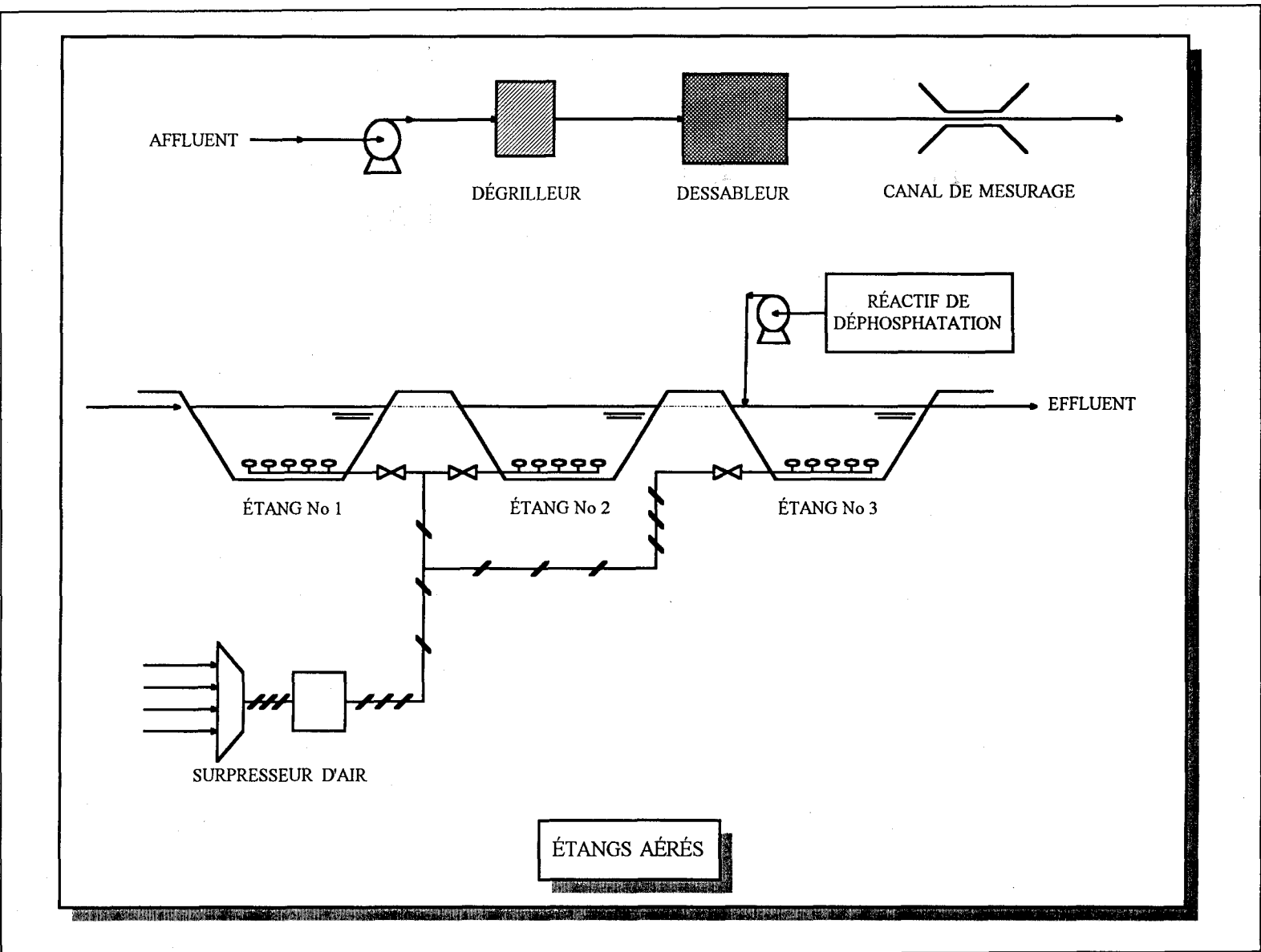


Schéma 8. Diagramme général du traitement des eaux usées par une station de type étangs aérés.

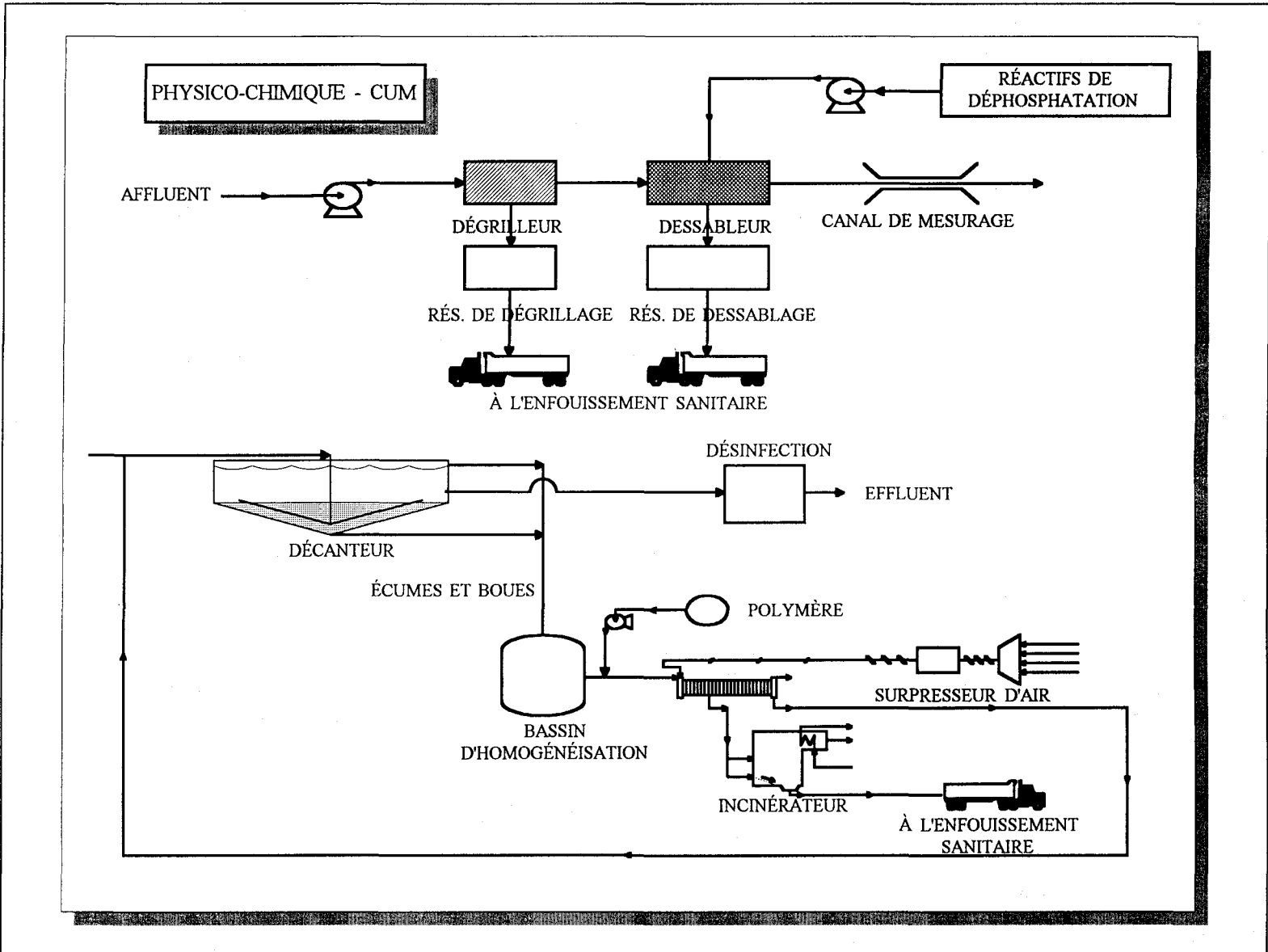


Schéma 9. Diagramme simplifié de la station d'épuration de type procédés physico-chimiques de la CUM.

1.4 Traitement tertiaire

Le traitement tertiaire est employé pour améliorer la performance épuratoire des systèmes de traitement primaire et secondaire. La désinfection des eaux épurées constitue la technique la plus couramment employée de traitement tertiaire. Traditionnellement, l'ajout de chlore a été employé pour la désinfection des eaux, parce que celui-ci est efficace et peu coûteux. Toutefois, la production de substances organochlorés cancérigènes, a fait en sorte de privilégier l'emploi de l'ozone, mais surtout de la radiation ultraviolet (UV) pour l'élimination des germes pathogènes. D'autres procédés peuvent être utilisés à l'occasion comme traitement tertiaire, on recense en autres : la déphosphoration chimique, la filtration, l'échange d'ion et l'élimination des oxydants résiduels.

1.5 Traitement et élimination des boues

La majorité des procédés utilisés dans le traitement des eaux usées municipales produisent des boues provenant d'un procédé de séparation solide-liquide (décantation, flottation, etc.) ou résultant d'une réaction chimique (coagulation), biochimique ou encore biologique. Ces matières subissent une série de traitement comprenant l'épaississement, le conditionnement et déshydratation des boues et finalement l'évacuation finale. Les boues organiques peuvent aussi subir des traitements visant la réduction de la fraction organique ou de la teneur en matières volatiles avant leur disposition finale.

1.5.1 Épaississement

L'épaississement, soit par décantation statique, soit par flottation à l'air dissous, constitue la première étape de la plupart des séries de traitement des boues. L'épaississement est avantageux pour plusieurs raisons. Il améliore le rendement de digestion, si celle-ci est prévue, et en réduit le coût d'investissement. Il réduit le volume des boues à disposer (enfouissement sanitaire, épandage agricole, rejet en mer, etc.). De plus, le procédé augmente l'économie des systèmes de déshydratation (centrifugation, filtration sous vide, etc.). Dans le cas de l'épaississement par décantation, la suspension boueuse est introduite dans une cuve où le temps de séjour est élevé. Ceci permet le tassement des boues qui sont évacuées par le fond, tandis que le liquide surnageant est évacué par le haut. Dans le cas des boues activées, l'épaississement peut se faire également par flottation à l'air dissous.

1.5.2 Stabilisation des boues

La disposition finale des boues biologiques dans l'environnement requiert souvent une étape préalable de stabilisation de cette biomasse. Cette étape effectuée principalement par les technologies de *digestion aérobie*, *digestion anaérobie* et *stabilisation chimique*, visent les objectifs suivants : a) la réduction du volume de boues produites, b) l'élimination des microorganismes pathogènes

et c) la réduction du pouvoir fermentescibles des boues. Les lignes suivantes décrivent ces trois procédés de stabilisation des boues largement employés à travers le monde.

Digestion aérobie

La digestion aérobie est une technique de traitement des boues utilisée surtout dans les stations d'épuration ayant des capacités inférieures à 10 millions de gallons U.S. par jour ($< 38\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$). La stabilisation aérobie s'effectue dans des bassins aérés par des diffuseurs submergés ou des aérateurs mécaniques de surface. Lors de ce traitement, les bactéries aérobies métabolisent les matières organiques solubilisées en dioxyde de carbone, en eau et en nouvelles cellules bactériennes. Lorsque les matières organiques solubles sont épuisées, les cellules bactériennes meurent et libèrent ainsi des éléments nutritifs intracellulaires qui servent de nourriture à d'autres organismes. Ce procédé est habituellement opéré à température ambiante. Toutefois, celui-ci peut être opéré à température élevée (stabilisation aérobie thermophile). Cette dernière variante est semblable au compostage de déchets organiques solides. Elle utilise le caractère exothermique des réactions d'oxydation pour accroître la température dans le réacteur. Les systèmes de stabilisation aérobie thermophile opèrent entre 45 et 60 °C.

Digestion anaérobie

La digestion anaérobie est l'une des méthodes les plus couramment utilisées pour la stabilisation des boues d'épuration municipales. De fait, la fermentation méthanique a un très grand pouvoir de biodestruction cellulaire. Elle permet l'élimination d'une quantité importante de matières organiques. La digestion anaérobie des boues comporte trois étapes.

- Au cours de la première étape, les composés organiques complexes de la partie solide des boues subissent une transformation en composés organiques complexes solubles;
- Après cette solubilisation, les molécules organiques complexes sont converties en acides gras volatils, composés plus simples, par des microorganismes anaérobies;
- La dernière étape de la réaction en série est la minéralisation complète des acides gras volatils en méthane, en dioxyde de carbone et en sulfure d'hydrogène.

Dans l'exploitation de la plupart des installations municipales, les trois étapes de fermentation méthanique, se produisent simultanément dans un digesteur clos. Le temps de rétention des boues de l'ordre de 30 jours. Le procédé de digestion anaérobie peut également être effectué en deux étapes, dans deux digesteurs disposés en série. Dans le premier digesteur, on

maintient les conditions les plus favorables à la solubilisation et à la formation d'acides gras à chaînes courtes ou d'acides volatils. Le temps de séjour est bref. Ce court temps de passage favorise l'accumulation des bactéries acidogènes à croissance rapide et empêche la prolifération des bactéries méthanogènes à croissance plus lente. Le digesteur de la deuxième étape, avec un temps de séjour beaucoup plus long, assure le développement des bactéries méthanogènes.

Stabilisation chimique

La stabilisation des boues par voie biologique (aérobie ou anaérobie) nécessite des installations relativement importantes. Lorsque la réduction du montant d'investissement est un objectif prioritaire, le pouvoir fermentescible des boues peut être diminué, au moins temporairement, par la seule addition de réactifs chimiques. Cette technique ne modifie pas la quantité de matière organique biodégradable contenues dans les boues. Une reprise de fermentation est donc possible si l'évolution ultérieure des conditions du milieu le permet. Le coût réduit de la chaux, son alcalinité et son effet favorable sur la structure physique des boues en font le réactif le plus utilisé. L'apport de chaux peut être effectué sur des boues liquides ou sur des boues déshydratées.

1.5.3 Conditionnement et déshydratation

Les procédés de déshydratation permettent de donner aux boues une consistance physique plus solide. Cependant, ceci est insuffisant pour rentrer les normes de texture et de taux d'humidité répondant aux exigences de la destination finale choisie. La majorité des boues organiques doivent ainsi subir un prétraitement spécifique, appelé conditionnement, pour permettre le bon fonctionnement des différents appareils de déshydratation mécanique.

Conditionnement

L'opération des différents équipements de déshydratation nécessite au préalable de procéder à la floculation des boues afin de casser la stabilité colloïdale et pour augmenter artificiellement la taille des particules. Le conditionnement a recours à des procédés de nature physique (thermique principalement), mais plus souvent de nature chimique (ajout de réactifs minéraux ou de polymères de synthèse). Il existe d'autres procédés de conditionnement, dont les applications sont rares en raison de leurs coûts d'investissement ou d'exploitation ou à cause de leurs faibles efficacité ou fiabilité. Mentionnons, par exemple, la congélation, le conditionnement par charges, le conditionnement électro-acoustique, le conditionnement par solvants ou huiles, ou encore l'utilisation des agents de solidification.

Déshydratation

La déshydratation des boues s'effectue principalement par centrifugation, filtration sous vide, filtration sur presses à plateaux, filtration sur bandes-presseuses, ainsi que par séchage sur lit de sable.

La centrifugation est appliquée pour déshydrater et épaissir les boues résiduelles. La centrifugeuse est un tambour ou un bol cylindrique qui tourne sur lui-même pour créer la force de séparation. Lorsque les boues liquides sont introduites à l'intérieur de la centrifugeuse en rotation, les matériaux plus denses sont séparés les premiers et tapissent les cloisons intérieures, puis sont éjectés du système. Les centrifugeuses les plus courantes sont à convoyeur et à bol, à bol perforé et à disques.

La filtration sous vide, la plus ancienne des techniques de déshydratation mécanique, n'a plus aujourd'hui que des applications limitées. Les filtres utilisés pour l'essorage des boues municipales sont du type à tambour rotatif et à auge ouverte. Le filtre rotatif à tambour est essentiellement constitué d'un cylindre tournant, partiellement immergé dans un bac contenant les boues à filtrer. Ce cylindre est formé par la juxtaposition de compartiments étanches et recouverts d'une toile unique de filtration. Les compartiments sont placés successivement sous vide ou à l'atmosphère. La filtration des boues s'effectue sous des vides industriels de 300 à 600 mm Hg. La vitesse de rotation du tambour varie entre 8 et 15 tours par heure. Les toiles filtrantes sont constituées de fibres synthétiques avec une porosité variant entre 30 et 100 μm . La consommation électrique excessive de cette technique (50 à 150 kWh/tbs) a fait en sorte de réduire l'application de la filtration sous vide.

La filtration sous pression en chambres étanches (filtres-presses à plateaux chambrés classiques, filtres-presses classiques à plateaux-membranes, filtres-presses automatiques, les presses à vis) permet d'appliquer sur le gâteau des pressions très élevées (5 à 15 bars et parfois plus). Ceci permet d'obtenir des siccités de gâteaux généralement supérieures à 30 % sur la majorité des boues organiques préalablement conditionnées. Le filtre-presse à plateau est constitué principalement par une batterie de plaques évidées, verticales, juxtaposées et appuyées fortement les unes contre les autres par des vérins hydrauliques placés à une extrémité de la batterie. Sur les deux faces des plaques sont appliquées des toiles filtrantes de mailles fines (10 et 300 μm). Les boues à filtrer arrivent sous pression, dans les chambres de filtration par l'intermédiaire d'orifices aménagés généralement au centre des plateaux.

La filtration sur bandes presseuses est très répandue pour plusieurs raisons : 1) grande facilité d'exploitation, 2) faible coût d'exploitation et investissement modéré, 3) continuité du procédé, 4) simplicité de la mécanique, et 4) production de boues pelletables. Par ailleurs, cette technique est la moins énergivore des procédés de déshydratation mécanique :

- filtres à bandes presseuses : 10 à 25 kWh/tbs;
- filtres-presses à plateaux : 20 à 40 kWh/tbs;
- centrifugeuse : 30 à 60 kWh/tbs;
- filtre sous vide : 50 à 150 kWh/tbs.

Dans cette technique, le pressage des boues se fait entre deux toiles filtrantes qui sont comprimés progressivement et qui s'enroulent successivement autour de tambours perforés et de rouleaux dont la disposition varie selon le type de filtre.

Le séchage des boues sur des lits de sable drainés, longtemps la technique la plus utilisée, est en régression du fait des grandes surfaces de terrain nécessaires, des dépenses de main-d'oeuvre qu'elle entraîne, ainsi que des performances dépendantes des conditions climatiques. Dans les régions tempérées, la durée possible de séchage naturel est d'une centaine de jours. La déshydratation sur lit de séchage comporte une première phase de drainage et une seconde d'évaporation. La siccité peut atteindre 40 et même 60 % en cas d'ensoleillement optimal.

1.5.4 Disposition finale des boues

Diverses alternatives sont possibles pour la disposition finale des boues dans l'environnement. Les procédés de séchage thermique et d'incinération peuvent être employés pour effectuer une diminution importante du volume total de boues à disposer, tout en assurant une destruction efficace des germes pathogènes. Toutefois, ces avantages doivent être évalués par rapport aux coûts associés à ces pratiques. Plusieurs variantes de séchage et d'incinération sont disponibles sur le marché : séchage éclair; fours rotatifs, incinérateurs à soles étagées; incinérateurs à lit fluidisé; oxydation par voie humide.

En ce qui concerne la disposition finale des boues d'épuration, deux approches principales sont envisageables, soit le recyclage ou encore l'élimination. Pour ce qui est du recyclage, l'utilisation des boues comme engrais agricoles est une pratique largement employée à travers le monde. Les boues peuvent aussi être utilisées comme fertilisants sylvicoles, ou pour la bonification des terres. L'enfouissement sanitaire représente la technique d'élimination des boues municipales la plus courante, mais la diminution du nombre de sites disponibles et la hausse des taxes de disposition, fait en sorte de réduire l'intérêt de cette option. Le rejet en mer est également une technique qui a été largement utilisé notamment pour les grandes villes côtières américaines et britanniques. Toutefois, les problèmes environnementaux associés à cet usage ont contraint les autorités à bannir cet usage.

2. État actuel du parc de stations d'épuration des eaux usées municipales au Québec

Au Québec, l'implantation d'ouvrages d'assainissement est réalisée dans le cadre du Programme d'Assainissement des Eaux du Québec (PAEQ). La Figure 1 montre l'évolution importante du nombre d'ouvrages d'assainissement réalisés dans le cadre du PAEQ de 1980 à 1993, avec des projections pour l'année 1994 et 1995. L'évolution de la population desservie ou qui sera desservie durant la même période est présentée à la Figure 2. Au terme du volet municipal du PAEQ, plus de 879 municipalités auront acquis les infrastructures requises pour le traitement de leurs eaux usées. Dans le rapport annuel 1992-93 de la Société Québécoise d'Assainissement des Eaux (SQAE), il est mentionné qu'en 1992, plus de 765 municipalités avaient signé un protocole d'entente avec le MEF, principal partenaire financier du programme. Ainsi, alors qu'en 1980 moins de 2 % de la population du Québec voyait ses eaux usées traitées, au 1^{er} janvier 1991, environ 37 % de la population du Québec était susceptible d'être reliée à des ouvrages d'assainissement collectifs. Ce pourcentage atteint un peu plus de 40 % au 1^{er} janvier 1992, puis environ 65 % au 1^{er} janvier 1993 suite à l'entrée en fonction de stations d'épuration importantes, telles que celles de la CUQ et de Longueuil. Enfin, au cours de cette année 1994, la population desservie va s'élever à 74 % avec le parachèvement des ouvrages d'assainissement de la CUM (versant sud).

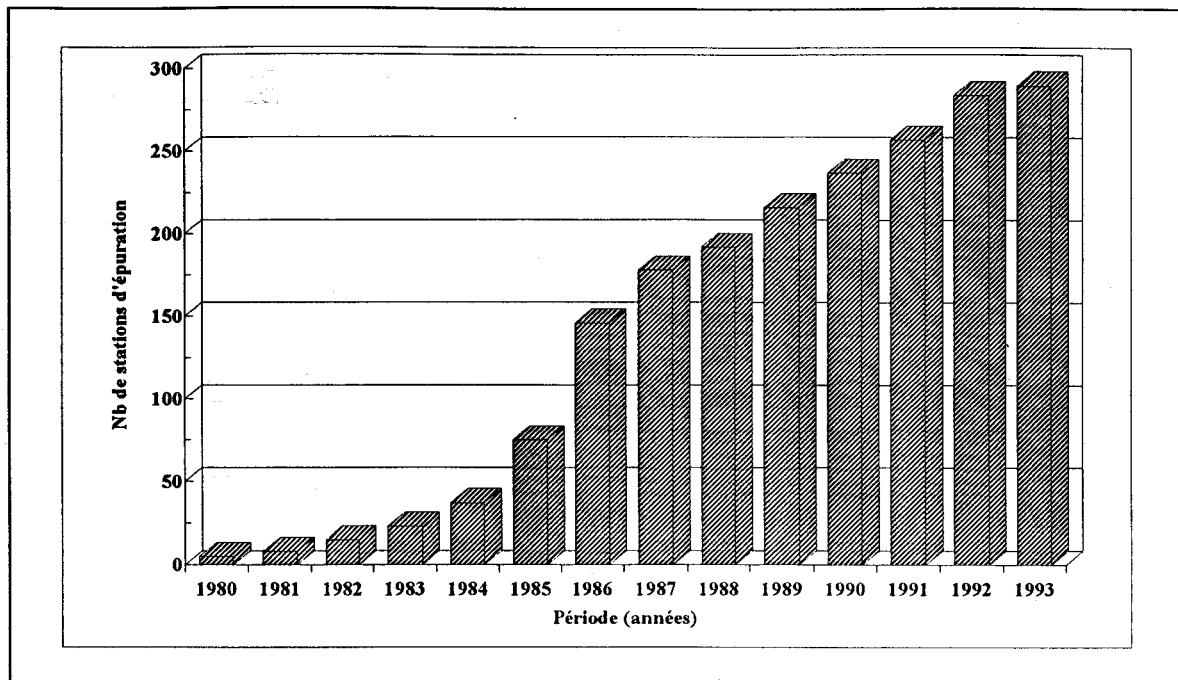


Figure 1. Évolution du nombre d'ouvrages d'assainissement des eaux usées en opération au Québec.

En date du 1^{er} janvier 1992, on recensait 257 ouvrages municipaux d'assainissement des eaux en opération sur le territoire québécois par le Ministère de l'Environnement et de la Faune (MEF). Ce nombre s'élevait à 284 stations d'épuration au début de l'année 1993 et serait d'environ 289 stations en ce début de l'année 1994. Les 289 ouvrages municipaux d'assainissement des eaux dénombrés actuellement comprennent, en autres, les ouvrages de la CUM et de la CUQ (est et ouest), qui à eux seuls, représentent 59.1 % de la capacité de traitement installée au Québec. Ce pourcentage sera de plus de 70 % avec la fin des travaux de raccordement du versant sud de la CUM.

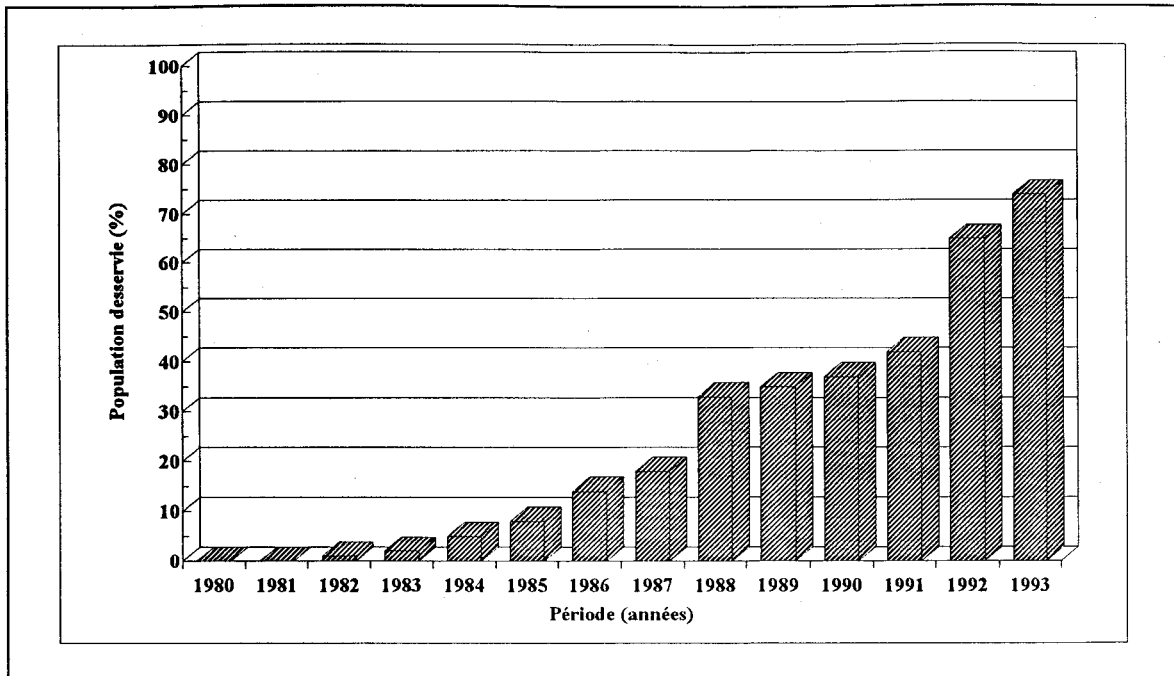


Figure 2. Évolution de la population desservie par des d'ouvrages d'assainissement des eaux usées au Québec.

Pour l'épuration des eaux usées divers types de traitement ont été installés dans les municipalités. Le choix du type de traitement à privilégier est fonction de la taille de la municipalité, le type d'eau à traiter, les contraintes physiques de localisation, les objectifs environnementaux, etc. En ce début de l'année 1994, on recense :

- 36 stations d'épuration utilisant un traitement par *boues activées*, ce qui comprend des procédés de type classique, à aération prolongée, par fossés d'oxydation, ou à réacteurs biologiques séquentiels;
- 14 stations d'épuration utilisant un traitement par *disques biologiques* ou équivalents;
- 179 stations d'épuration utilisant un traitement par *étangs aérés* ou étangs aérés facultatifs;
- 14 stations d'épuration comprenant un traitement par *biofiltration*;
- 2 stations d'épuration employant un traitement *physico-chimique*;
- 20 stations d'épuration utilisant un traitement par *étangs non-aérés*;

- 24 stations d'épuration utilisant un traitement par *fosses septiques* et champs d'infiltration.

Dans plusieurs cas, ces procédés sont complétés par des étapes de traitement plus poussé, dont la déphosphoration chimique (addition de chlorure ferrique ou alun), la filtration et la désinfection (U.V. ou chloration). Les Tableaux 1 à 3 présentent les différents procédés implantés dans le parc de 289 ouvrages d'assainissement. Les constatations suivantes peuvent être réalisées à partir de ces tableaux :

- Plus de 48.8 % du débit (36.0 % de la population desservie) est traité par un procédé physico-chimique et ceci dans seulement deux stations d'épuration, soit celle de la CUM (Nord et Sud) et celle de Laval (secteur Fabreville);
- Les usines de biofiltration constituent 4.9 % des ouvrages d'assainissement et traitent 18.3 % du débit (23.3 % de la population);
- Les boues activées représentent 12.5 % des ouvrages et traitent 17.6 % du débit (21.4 % de la population);
- Les étangs aérés représentent 61.9 % des ouvrages mais traitent seulement 14.8 % du débit (18.5 % de la population);
- Les autres procédés (étangs non-aérés, disques biologiques et fosses septiques communes) représentent 20.1 % des ouvrages mais épurent seulement 0.5 % du débit (0.8 % de la population);
- Plus de 56.4 % des ouvrages sont munis d'un système de déphosphoration permettant ainsi une capacité de traitement égale à 83.0 % en débit et desservant 79.9 % de la population dont les eaux sont épurées;
- Un total de 73.4 % des ouvrages sont en mesure d'assurer une étape de désinfection (correspondant à 28.8 % de la capacité de traitement et à 37.2 % de la population). Douze stations d'épuration, dont la CUQ-Est et la CUQ-Ouest, utilisent la technologie de radiation ultraviolet pour la désinfection des eaux usées. Selon les données du MEF, la chloration des eaux épurées est encore employée dans trois stations d'épuration québécoises (Notre-Dame-du-Lac, Rock-Forest et Magog). Les procédés de type étangs aérés (EA) et étangs non-aérés (ENA) sont considérés comme assurant une désinfection naturelle.

- Seulement 2.4 % des stations d'épuration sont munies d'une étape de filtration tertiaire des eaux usées (correspondant à 1.9 % du débit et à 2.3 % de la population).

Tableau 1. Répartition du nombre d'ouvrages d'assainissement selon les types de traitement et les procédés employés

Type de traitement	Total	Déphosphoration	Désinfection	Filtration
Boues activées (BA)	36	27	8	5
Biodisques (BD)	14	6	1	0
Biofiltration (BF)	14	5	4	0
Étangs aérés (EA)	179	113	179	1
Étangs non-aérés (ENA)	20	10	20	1
Fosses septiques (FS)	24	0	0	0
Physico-chimiques (PC)	2	2	0	0
Total	289	163	212	7

Tableau 2. Répartition de la capacité de traitement (x 1000 m³/d) selon les types de traitement et les procédés employés

Type de traitement	Total	Déphosphoration	Désinfection	Filtration
Boues activées (BA)	621.2	424.9	69.9	66.8
Biodisques (BD)	6.8	3.2	0.7	0.0
Biofiltration (BF)	647.3	505.7	417.1	0.0
Étangs aérés (EA)	525.1	274.0	525.1	0.7
Étangs non-aérés (ENA)	7.7	2.0	7.7	0.4
Fosses septiques (FS)	2.1	0.0	0.0	0.0
Physico-chimiques (PC)	1 727.3	1 727.3	0.0	0.0
Total	3 537.5	2 937.1	1 020.5	67.9

Tableau 3. Répartition de la population desservie (x 1000 personnes) selon les types de traitement et les procédés employés

Type de traitement	Total	Déphosphoration	Désinfection	Filtration
Boues activées (BA)	733.1	520.0	77.2	75.3
Biodisques (BD)	10.1	5.5	0.5	0.0
Biofiltration (BF)	800.8	644.4	552.7	0.0
Étangs aérés (EA)	634.0	330.3	634.0	1.5
Étangs non-aérés (ENA)	10.8	3.8	10.8	0.4
Fosses septiques (FS)	5.3	0.0	0.0	0.0
Physico-chimiques (PC)	1 235.0	1 235.0	0.0	0.0
Total	3 429.1	2 739.0	1 275.2	77.2

Une caractéristique d'intérêt dans l'analyse du parc de stations d'épuration québécois est sans doute le dimensionnement moyen des ouvrages, ainsi que la population moyenne desservie par ces installations. Le Tableau 4 expose ces données pour les divers types de traitement des eaux usées. Ainsi, un débit moyen de conception de 12 241 m³/d est mesuré pour l'ensemble des 289 stations d'épuration en opération au Québec, alors que la population moyenne à la conception est de 11 865 personnes. L'Appendice A présente la liste des stations d'épuration utilisée pour la préparation de cette analyse. Un écart important existe entre les diverses stations; le débit variant entre 23 et 1 706 000 m³/d et la population desservie se situant entre 48 et 1 200 000 personnes. Il faut également noter les différences importantes entre le débit moyen et la population desservie pour les divers types de traitement. Ainsi, les stations de type physico-chimique sont de loin les plus importantes (1 station de la CUM), suivies de celles de type biofiltration (2 stations de la CUQ) et de type boues activées. Les étangs aérés, nombreux au Québec, présentent un débit moyen de conception nettement plus faibles que pour les 3 types précédents, soit de 2 933 m³/d, avec une population moyenne de 3 542 personnes. Les trois autres types d'ouvrages sont de dimensions moindres, avec un débit hydraulique de conception inférieur à 500 m³/d, et une population desservie de moins de 1 000 habitants.

Des différences significatives sont également observables entre les quantités d'eau à épurer par personne en fonction du type d'ouvrages d'assainissement en place. Un volume moyen de 1 032 litres d'eau à épurer par jour par personne est mesuré à la conception pour l'ensemble des 289 stations

d'épuration. Cette charge hydraulique par personne varie grandement selon les types de traitement. Ainsi, pour les fosses septiques communes, un débit hydraulique par personne de seulement 406 litres/d/p est noté, alors que pour les procédés physico-chimiques cette charge moyenne s'élève à 1 399 litres/d/p. Les cinq autres systèmes de traitement présentent une charge hydraulique moyenne plus semblable, variant entre 673 et 847 litres/d/p. Les différences importantes entre les charges hydrauliques par habitant peuvent s'expliquer en bonne partie par l'influence des eaux pluviales (structure du réseau d'égout) et par l'intensité des activités industrielles. L'infiltration massive des eaux pluviales et souterraines constitue la principale cause de la charge hydraulique élevée mesurée pour les ouvrages d'assainissement de la CUM.

Tableau 4. Population et capacité de traitement moyennes par station d'épuration

Type de traitement	Débit moyen (m ³ /d)	Population desservie moyenne	Débit /Population (m ³ /d/pers.)
Boues activées (BA)	17 257	20 365	0.847
Biodisques (BD)	485	721	0.673
Biofiltration (BF)	46 237	57 199	0.808
Étangs aérés (EA)	2 933	3 542	0.828
Étangs non-aérés (ENA)	385	540	0.713
Fosses septiques (FS)	89	219	0.406
Physico-chimiques (PC)	863 650	617 500	1.399
Total	12 241	11 865	1.032

Afin de faciliter le suivi de l'opération des stations et la formulation d'exigences de rejets, le MEF répartie les diverses stations d'épuration en catégories selon leur capacité de traitement exprimée en m³/d. Les catégories actuellement définies par le Ministère sont les suivantes :

- Catégorie 1 : < 750 m³/d
- Catégorie 2 : 750 - 4 999 m³/d
- Catégorie 3 : 5 000 - 24 999 m³/d
- Catégorie 4 : 25 000 - 99 999 m³/d

- Catégorie 5 : > 100 000 m³/d

Les Tableaux 5 à 7 présentent la répartition de l'ensemble des ouvrages d'assainissement selon ces différentes catégories et aussi selon le débit total de traitement et la population desservie pour chacune des catégories. Les faits suivants peuvent être tirés de ces données :

- Plus de 63.1 % du débit (56.5 % de la population desservie) est traité par des stations de capacité supérieure à 100 000 m³/d; il s'agit de la station de la CUM de type physico-chimique, de la CUQ de type biofiltration, et de la CUO de type boues activées;
- Un total de 30.3 % du débit (33.7 % de la population) est traité par des ouvrages de capacité comprise entre 5 000 et 100 000 m³/d qui représentent 20.8 % du nombre total des ouvrages;
- Environ 6.6 % du débit (9.8 % de la population) est traité par des ouvrages de capacité inférieure à 5 000 m³/d et ceux-ci représentent plus de 77.9 % des ouvrages en termes de nombre;
- Les ouvrages de capacité inférieure à 5 000 m³/d sont majoritairement des étangs aérés et ceux de capacité supérieure à 5 000 m³/d se répartissent entre les étangs aérés, les boues activées, la biofiltration et le traitement physico-chimique.

Tableau 5. Répartition du nombre d'ouvrages d'assainissement selon les types de traitement et le débit d'eaux usées à traiter

Type de traitement	Total	Catégorie				
		1	2	3	4	5
Boues activées (BA)	36	3	10	16	6	1
Biodisques (BD)	14	11	3	0	0	0
Biofiltration (BF)	14	0	1	7	4	2
Étangs aérés (EA)	179	66	87	23	3	0
Étangs non-aérés (ENA)	20	18	2	0	0	0
Fosses septiques (FS)	24	24	0	0	0	0
Physico-chimiques (PC)	2	0	0	1	0	1
Total	289	122	103	47	13	4

Tableau 6. Répartition de la capacité de traitement (x 1000 m³/d) selon les types de traitement et le débit d'eaux usées à traiter

Type de traitement	Total	Catégorie				
		1	2	3	4	5
Boues activées (BA)	621.2	1.9	20.5	190.0	272.5	136.3
Biodisques (BD)	6.8	3.8	3.0	0.0	0.0	0.0
Biofiltration (BF)	647.3	0.0	0.8	89.7	168.8	388.0
Étangs aérés (EA)	525.1	29.5	165.4	216.1	114.1	0.0
Étangs non-aérés (ENA)	7.7	3.9	3.8	0.0	0.0	0.0
Fosses septiques (FS)	2.1	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Physico-chimiques (PC)	1 727.3	0.0	0.0	21.3	0.0	1 706.0
Total	3 537.5	41.2	193.5	517.1	555.4	2 230.3

Tableau 7. Répartition de la population desservie (x 1000 personnes) selon les types de traitement et le débit d'eaux usées à traiter

Type de traitement	Total	Catégorie				
		1	2	3	4	5
Boues activées (BA)	733.1	3.8	29.4	202.2	267.7	230.0
Biodisques (BD)	10.1	7.6	2.5	0.0	0.0	0.0
Biofiltration (BF)	800.8	0.0	2.6	117.2	174.0	507.0
Étangs aérés (EA)	634.0	51.8	224.2	241.7	116.3	0.0
Étangs non-aérés (ENA)	10.8	7.4	3.4	0.0	0.0	0.0
Fosses septiques (FS)	5.3	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Physico-chimiques (PC)	1 235.0	0.0	0.0	35.0	0.0	1 200.0
Total	3 429.1	75.9	262.1	596.1	558.0	1 937.0

L'efficacité énergétique dans les stations d'épuration des eaux usées a jusqu'à maintenant été principalement étudiée aux États-Unis. Dans le but de comparer les résultats de ces études avec la situation québécoise, il est bien sûr approprié d'examiner dans un premier temps, le parc de stations américaines. Une étude récente indique qu'en 1988 près de 15 600 usines d'épuration étaient recensées sur le territoire américain, pour une population desservie d'environ 176 millions de personnes, soit l'équivalent de 71 % de la population totale (Burton Environmental Engineering *et al.*, 1993). Selon les estimés, dans une vingtaine d'années (environ de 2010), il est prévu que près de 87 % de la population américaine (247 millions d'individus) sera desservie par plus de 17 300 ouvrages d'assainissement des eaux usées.

Le Tableau 8 présente une répartition actuelle et future du nombre de stations et du débit d'eau traité, en fonction de la capacité de traitement des installations. La situation américaine s'apparente assez bien à celle du Québec. En effet, plus de 80 % des stations sont de faible capacité, soit inférieure à 3 786 m³/d (< 1 million gallons U.S./d), alors que plus de 90 % du débit total est traité par de grosses stations d'épuration (> 1 million gallons U.S./d). Le Tableau 9 montre la répartition des usines d'épuration américaines selon le niveau de traitement opéré. À l'heure actuelle, environ 11 % des stations n'effectuent qu'un niveau de traitement primaire. Toutefois, avec les nouvelles réglementations, il est prévu que cette fraction soit abaissée en dessous de 0.5 %.

Tableau 8. Répartition des stations d'épuration américaines selon la capacité de traitement

Capacité (m ³ /d)	Nb de stations en 1988	Nb de stations prévues	Débit mesuré en 1988	Débit prévu
			(x 1000 m ³ /d)	(x 1000 m ³ /d)
- de 380	5 983	5 497	981	1 011
380-3786	6 589	7 681	8 734	10 158
3787-38760	2 427	3 376	27 176	39 886
+ de 38760	446	739	71 904	116 628
Inconnu	146	81	0	0
Total	15 591	17 374	108 795	167 683

Tableau 9. Répartition des stations d'épuration américaines selon le niveau de traitement

Niveau de traitement	Nb de stations en 1988	Nb de stations prévues	Débit de conception en 1988 (x 1000 m ³ /d)	Débit de conception prévu (x 1000 m ³ /d)
Moins que secondaire	1 789	48	19 044	1 458
Secondaire	8 536	9 659	60 905	71 896
Plus que secondaire	3 412	5 293	58 638	87 521
Aucun rejet	1 854	2 363	3 915	6 697
Autre	-	11	-	30
Total	15 591	17 374	142 502	167 602

Les Tableaux 10 et 11 présentent un portrait global des divers systèmes de traitement des eaux usées et des boues d'épuration en place aux États-Unis. Les techniques de lagunage aéré sont moins fréquentes (10.5 %) aux États-Unis en comparaison au Québec (61.9 %). Cependant, une fraction plus importante d'étangs non-aérés est en place aux États-Unis (40.4 %) en comparaison au Québec (6.9 %). De plus, une fraction plus importante de stations américaines emploient des systèmes de boues activées (conventionnelles, aération prolongée, fossés d'oxydation, réacteurs biologiques séquentiels) avec environ 24.0 % des cas, pour seulement 12.5 % au Québec. Les biodisques sont utilisés dans le même rapport avec 3 à 5 % des usines, alors que les unités de biofiltration (ou lit bactérien) sont plus courantes aux États-Unis (15.1 %) qu'au Québec (4.8 %). Pour ce qui est du traitement des boues, les procédés de digestion aérobie et anaérobie sont largement employés aux États-Unis, alors qu'au Québec, le traitement des boues s'effectue principalement par digestion aérobie.

Tableau 10. Dénombrement des divers procédés biologiques d'épuration des eaux usées employés aux États-Unis

Procédés	Nb de stations en 1988	Nb de stations prévues	Hausse	% de hausse
Boues activées (totales)	3 591	4 284	693	19
BA-aération prolongée	2 082	2 858	776	37
BA-fossés d'oxydation	937	1 353	416	44
BA-nitrification biol.	1 007	2 053	1 046	104
BA-dénitrification biol.	49	85	36	73
BA-enlèvement. biol. du P	28	37	9	32
BA-RBS	1	2	1	100
Étangs aérés	1 575	2 367	792	50
Étangs non-aérés	6 032	7 466	1 434	24
Lit bactérien (biofiltration)	2 260	2 365	105	5
Biodisques	448	725	277	62
Épandage sur les terres	985	1 445	460	47
Autres traitements biologiques	44	86	42	95

Tableau 11. Dénombrement des divers procédés de traitement des boues d'épuration employés aux États-Unis

Procédés	Nb de stations en 1988	Nb de stations prévues	Hausse	% de hausse
Épaississement gravitaire	1 246	1 556	310	25
Digestion aérobie	3 710	4 800	1 090	29
Digestion anaérobie	3 628	4 072	444	12
Traitement thermique	143	163	20	14
Déshydratation mécanique	1 718	2 123	405	24
Séchage à l'air	6 037	7 241	1 204	20
Compostage	77	126	49	64
Fossés d'oxydation	688	822	134	19
Stabilisation chimique	139	189	50	36
Incinération	341	392	51	15
Récupération des gaz et de la chaleur	246	288	42	17
Autres traitements	574	774	200	35

3. Performance épuratoire des stations d'épuration

Ce chapitre est tiré intégralement du document produit par le Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec (Dartois, 1992). Le MEF a défini un certain nombre d'exigences concernant l'exploitation et la performance environnementale des ouvrages d'assainissement des eaux municipales. Ces exigences sont établies pour chaque ouvrage d'assainissement. Elles sont rassemblées dans un document intitulé "Cahier des exigences" que le ministère remet au propriétaire des ouvrages d'assainissement lorsqu'ils sont complétés, c'est-à-dire après leur vérification et l'émission d'un avis de conformité. Les exigences touchent aux aspects suivants :

- La production d'effluents d'un niveau de qualité minimal pour les stations d'épuration ainsi que des ouvrages de surverse installés dans le réseau d'égouts;
- La planification et le contrôle de l'élimination des boues sur la base d'un suivi des quantités et de la qualité des boues produites, et lorsqu'il s'agit de valorisation agricole, l'atteinte des normes d'application en vigueur;
- L'obligation d'exécuter un programme de suivi pour vérifier le respect des normes environnementales et de certains paramètres opératoires;
- L'obligation de produire des rapports et de les faire parvenir périodiquement au MEF;
- L'obligation de faire assurer le fonctionnement des ouvrages par du personnel conforme à la directive 006 relative à la formation des opérateurs;
- L'obligation d'adopter et de faire respecter une réglementation municipale concernant les rejets dans les réseaux d'égouts et les branchements à l'égout.

Concernant comme tel le traitement des eaux usées, le Ministère a retenu les critères suivants pour l'évaluation du suivi des opérations :

- La comparaison des débits et charges traités par rapport aux valeurs prévues à la conception de manière à identifier les cas de surcharges ou sous-charges;
- L'efficacité épuratoire en DBO_5 , MES et P_{tot} , celui-ci se définissant comme étant le rapport des charges éliminées sur les charges admises au traitement;

- Le respect des exigences de rejets. Le MEF utilise des exigences préliminaires de rejets qu'il a définies en fonction des technologies de traitement installées⁴. Les Tableaux 12 à 14 présentent les limites maximales à respecter pour les rejets finaux sortant des stations d'épuration. Mentionnons également que pour chaque station, des niveaux de charges (kg/d) sont définis sur la base des débits et charges à traiter prévus à la conception et de la technologie de traitement retenue, ceci en accord avec les capacités du milieu récepteur.

Pour chaque technologie, une exigence moyenne *annuelle* s'applique et ceci pour toutes les tailles de station (catégories 1 à 5). De plus, une deuxième exigence moyenne, sur une période de temps plus courte, variable selon la taille de la station :

- hebdomadaire pour la catégorie 5,
- mensuelle pour les catégories 3 et 4,
- quadrimensuelle pour les catégories 1 et 2.

Ces exigences sont exprimées en concentration (mg/L). Si cette teneur est dépassée, le rejet est considéré conforme à condition que le rendement (%) spécifié en alternative soit respecté.

Une exigence *quotidienne* de déphosphoration est prescrite pour les étangs aérés. Ces derniers sont classés en trois types, "A, B ou C", en fonction d'un temps de rétention de référence et du nombre d'étangs en série. Il faut également prendre note que pour les stations de type "boues activées" munies d'une filtration tertiaire, les concentrations de DBO₅ et de MES exigées passent de 20 à 15 mg/L et de 30 à 20 mg/L, alors que teneurs limites en phosphore sont réduites de 50 %.

⁴ À l'heure actuelle aucune exigence de rejet n'est prescrite pour les étangs non-aérés et les fosses septiques.

Tableau 12. Exigences annuelles, quadriannuelles, mensuelles et hebdomadaires pour les rejets en DBO₅ selon la technologie de traitement (MEF)

Type de traitement	Annuelle	Quadrimens.	Mensuelle	Hebdomadaire
Boues activées	Cat. 1,2,3,4,5 20 mg/L ou 90 %	Cat. 1,2 30 mg/L ou 85 %	Cat. 3,4 30 mg/L ou 85 %	Cat. 5 30 mg/L ou 85 %
Biodisques	Cat. 1,2 25 mg/L ou 80 %	Cat. 1,2 35 mg/L ou 70 %		
Biofiltration	Cat. 1,2,3,4,5 N/D	Cat. 1,2 N/D	Cat. 1,2 N/D	Cat. 5 N/D
Étangs aérés-A	Cat. 1,2,3,4 30 mg/L ou 65 %	Cat. 1,2,3,4 E : 25 mg/L ou 80 % H : 30 mg/L ou 60 %		
Étangs aérés-B	Cat. 1,2,3,4 25 mg/L ou 75 %	Cat. 1,2,3,4 E : 20 mg/L ou 85 % H : 25 mg/L ou 70 %		
Étangs aérés-C	Cat. 1,2,3,4 20 mg/L ou 85 %	Cat. 1,2,3,4 E : 15 mg/L ou 90 % H : 20 mg/L ou 80 %		
Physico-chimiques		Ne s'applique pas		

E : Trimestre d'été = juin, juillet, août

H : Trimestre d'hiver = décembre, janvier, février

Tableau 13. Exigences annuelles, quadriannuelles, mensuelles et hebdomadaires pour les rejets en MES selon la technologie de traitement et la catégorie de la station

Type de traitement	Annuelles	Quadrimens.	Mensuelles	Hebdo.
Boues activées	Cat. 1,2,3,4,5 20 mg/L ou 90 %	Cat. 1,2 30 mg/L ou 85 %	Cat. 3,4 30 mg/L ou 85 %	Cat. 5 30 mg/L ou 85 %
Biodisques	Cat. 1,2 25 mg/L ou 80 %	Cat. 1,2 35 mg/L ou 70 %		
Biofiltration	Cat. 1,2,3,4,5 20 mg/L ou 90 %	Cat. 1,2 30 mg/L ou 85 %	Cat. 3,4 30 mg/L ou 85 %	Cat. 5 30 mg/L ou 85 %
Étangs aérés-A		Ne s'applique pas		
Étangs aérés-B		Ne s'applique pas		
Étangs aérés-C		Ne s'applique pas		
Physico-chimiques	Cat. 3,4,5 N/D		Cat. 3,4 N/D	Cat. 5 N/D

Tableau 14. Exigences annuelles, quadriannuelles, mensuelles, hebdomadaires et quotidiennes pour les rejets en phosphore selon la technologie de traitement et la catégorie de la station

Type de traitement	Annuelles	Quadrim.	Mensuelles	Hebdo.	Quotid.
Boues activées	Catégorie 1,2,3,4,5 0.8 mg/L ou 90 %	Cat. 1,2 1 mg/L ou 85 %	Cat. 3,4 1 mg/L ou 85 %	Cat. 5 1 mg/L ou 85 %	
Biodisques	Cat. 1,2 0.8 mg/L ou 90 %	Cat. 1,2 1 mg/L ou 85 %			
Biofiltration	Cat. 1,2,3,4,5 0.8 mg/L ou 90 %	Cat. 1,2 1 mg/L ou 85 %	Cat. 3,4 1 mg/L ou 85 %	Cat. 5 1 mg/L ou 85 %	
Étangs aérés-A	Cat. 1,2,3,4 1 mg/L ou 85 %				Cat. 1,2,3,4 1.5 mg/L ou 70 %
Étangs aérés-B	Cat. 1,2,3,4 1 mg/L ou 85 %				Cat. 1,2,3,4 1.5 mg/L ou 70 %
Étangs aérés-C	Cat. 1,2,3,4 1 mg/L ou 85 %				Cat. 1,2,3,4 1.5 mg/L ou 70 %
Physico-chimiques	Cat. 3,4,5 N/D		Cat. 3,4 N/D	Cat. 5 N/D	

Le MEF prépare un bilan annuel du rendement des stations d'épuration municipales. Pour l'année 1991, 166 stations ont été examinées sur un total de 239, ce qui représente près de 70 % des cas. *L'Appendice B présente l'ensemble des données individuelles de performance épuratoire des ouvrages d'assainissement des eaux usées obtenues du MEF.* En terme de capacité (débit d'eau), l'évaluation a porté sur plus de 87 % du total (76 % en excluant la CUM). En considérant l'ensemble des 165 ouvrages d'assainissement (CUM exclue), la somme des débits d'eaux usées traités en 1991 représente 96 % de la capacité de conception⁵ (contre 102 % en 1990), alors que la charge en DBO₅ constitue 86 % de la capacité prévue à la conception. Plus spécifiquement, dans 61 % des cas, les débits d'eaux traités ont été inférieurs aux débits de conception et dans 93 % des cas, les débits moyens mesurés n'ont pas dépassé 125 % de ces mêmes débits de conception. De plus, dans 80 % des cas, les charges en DBO₅ ont été inférieures aux charges de conception et dans 93 % des cas elles n'ont pas excédé 125 % des charges prévues à la conception.

En 1991, 45 stations d'épuration, soit 15 % de la capacité de traitement, ont reçu moins de 75 % du débit prévu à la conception. Ces cas sont surtout constitués de petites municipalités (24 cas avec un débit de conception 750 m³/d). Les cas de surcharges hydrauliques (> 125 % de la valeur de conception) se sont produits dans 25 stations d'épuration représentant une capacité de traitement égale à 8 % du parc d'équipement d'épuration. Ces cas particuliers sont principalement observés pour des petites municipalités dotées d'étangs aérés dont les eaux sont très diluées, ou encore à la suite d'une augmentation de la population desservie.

En ce qui concerne la charge en DBO₅ à l'entrée des stations d'épuration, une valeur moyenne de 105 mg/L a été déterminée en 1991 pour les 164 stations d'épuration évaluées (Laval et CUM non-incluses). La majorité des stations traite des eaux dont la concentration varie entre 60 et 140 mg/L. Les eaux très diluées se retrouvent majoritairement avec les procédés de type étangs aérés et constituent une capacité de traitement peu élevée (10 % du total des 164 stations). Les teneurs moyennes mesurées à l'affluent pour les MES et le phosphore ont été respectivement de 115 mg/L et de 3.5 mg/L en 1991 (voir détails au Tableau 15).

Dans presque la moitié des cas (représentant 35 % de la capacité), les stations ont traité moins de 75 % de la charge prévue à la conception. Il s'agit souvent de cas pour lesquels un usager majeur (industrie) avait été prévu lors du design de conception, mais dont l'activité a été modifiée en 1991. De plus,

⁵ La capacité de conception réfère à la capacité maximale de la station prévue à la conception et représentant une réserve pour l'expansion de la population desservie jusqu'à l'année 2010.

pour les petites municipalités, les populations desservies sont dans bien des cas plus faibles que celles prévues à la conception.

De ces données (traitement des débits étant égal à 96 % de la capacité maximale, CUM non considérée), si rien n'était fait pour réduire la consommation de l'eau, on peut déduire que les capacités de traitement du parc actuel d'équipements deviendront rapidement insuffisantes. Faisant l'hypothèse optimiste d'une perte de 0.5 % par an de la marge de réserve de capacité de traitement des débits moyen d'eaux usées, il est clair que plusieurs stations devront être revues pour en reconfigurer le procédé, soit en terme de dimensions, soit en terme d'efficacité épuratoire, ou encore, par substitution des techniques actuelles par des techniques plus performantes.

Tableau 15. Charges moyennes (mg/L) des affluents et effluents pour les divers types de traitement des eaux usées utilisés au Québec

Type de traitement	Nombre	Affluent			Effluent		
		DBO ₅	MES	P	DBO ₅	MES	P
Boues activées (BA)	27 (22)*	109	129	3.5	8.8	10.9	0.79
Biodisques (BD)	10 (5)	88	91	4.0	15.1	17.8	0.66
Étangs aérés (EA)	127 (78)	100	102	3.7	12.3	12.9	1.10
Physico-chimiques (PC)	1	--	62	2.4	--	23.4	0.88
Total	165 (105)	105	115	3.5	10.3	12.2	0.90

* Le nombre en parenthèses indique le nombre de stations pour lesquelles les teneurs en phosphore ont été évaluées (stations avec déphosphoration)

Les cas de surcharge organique (> 125 % de la valeur de conception) ont constitué, pour l'année 1991, 11 % de la capacité de traitement avec 11 cas recensés. Ces cas s'expliquent par une croissance démographique plus importante que prévue initialement, ou encore par l'addition de nouvelles industries.

Pour ce qui est de l'efficacité épuratoire des stations, un rendement moyen annuel de 90 % a été mesuré pour l'enlèvement de la DBO₅, alors que pour l'enlèvement des MES et du phosphore, des rendements globaux respectifs

de 89 % et 74 % ont été déterminés. Le Tableau 16 présente une analyse plus détaillée selon le type de traitement utilisé.

Tableau 16. Rendements annuels moyens (%) des stations d'épuration pour les divers types de traitement des eaux usées utilisés au Québec

Type de traitement	Rendement (%)		
	DBO ₅	MES	P
Boues activées (BA)	92	92	77
Biodisques (BD)	83	81	84
Étangs aérés (EA)	88	87	70
Physico-chimiques (PC)	--	62	63
CUM (Nord) (PC)	55*	81	74
Moyenne générale (excluant la CUM)	90	89	74

* *Estimation*

4. Profil de consommation énergétique

Ce chapitre trace un portrait global de la consommation électrique inhérente au traitement des eaux usées domestiques au Québec. Les premières sections portent sur le bilan énergétique actuel et futur des stations d'épuration québécoises, alors que la dernière section traite de la variation temporelle de charges (hydraulique et organique) et de consommation électrique des ouvrages d'assainissement des eaux usées municipales.

4.1 Demande actuelle et projection

Le système informatique d'Hydro-Québec recense plus de 359 comptes reliés à des ouvrages d'assainissement des eaux usées au Québec. Il faut toutefois noter que plusieurs de ces comptes sont associés à des postes de pompage d'eaux usées de certaines municipalités. Les données de puissance et de consommation électrique obtenues d'Hydro-Québec sont exposées à l'Appendice C. L'analyse conjointe de ces données de consommation électrique avec les données du MEF sur les critères de conception des stations d'épuration (289 ouvrages d'assainissement répertoriés) a permis de caractériser les besoins énergétiques pour plus de 196 stations d'épuration municipales, desservant 2 965 947 habitants et traitant un débit hydraulique de plus de 3 075 436 m³/d. Sur la base de ces données, cette analyse a permis de relier la consommation électrique de plus de 86.5 % de la population desservie par des ouvrages d'assainissement et de plus de 86.9 % du débit total d'eaux usées traitées.

4.1.1 Consommation électrique totale pour le parc d'équipement

La consommation électrique totale pour l'ensemble des 196 stations d'épuration recensées est de 773 220 kWh/d. Cette valeur moyenne est obtenue à partir des données fournies par Hydro-Québec, pour la période se situant entre la mi-1992 à la mi-1993. Pour la CUM, les données utilisées proviennent de la centrale d'opération de la station et s'étalent sur l'année complète 1993. Considérant que l'analyse porte sur 86.9 % du débit total d'eaux usées traitées, on peut extrapoler la consommation électrique totale pour le traitement des eaux usées municipales au Québec, soit d'environ 889 780 kWh/d, ce qui correspond à une consommation électrique annuelle de 324 770 000 kWh. Cette valeur ne tient toutefois pas compte des systèmes de pompage des eaux usées distribués à l'extérieur des stations d'épuration, sur le réseau d'interception et d'acheminement des eaux d'égouts.

En comparaison, Ontario-Hydro (1993b) estime la consommation ontarienne actuelle dans les stations d'épuration à 787 624 000 kWh, et à 164 446 000 kWh pour les postes de pompage localisés à l'extérieur des stations de traitement, pour un total d'environ 952 GWh. Environ 17 % de cette énergie est consommée "hors-usine", le ratio consommation hors-

usine/consommation en usine étant de 0.21. *Utilisant un ratio semblable pour le Québec, dans la mesure où il pourrait s'appliquer⁶, on peut estimer la consommation totale au Québec à $324.8 + 67.8 = 392.6$ GWh.*

Actuellement, au Québec pour le traitement des eaux usées, il se dépenserait approximativement 41 % de l'énergie électrique consommée en Ontario. Il faut toutefois tenir compte de l'état plus avancé de développement, du réseau des ouvrages d'assainissement dans cette province et de la population desservie, qui est un peu supérieure à celle du Québec.

En considérant que 3 429 100 personnes sont présentement reliées à des ouvrages d'épuration municipaux, et que le programme d'assainissement des eaux du Québec prévoit desservir près de 5 600 000 habitants, *on peut extrapoler la consommation annuelle d'électricité à plus de 641 GWh aux termes du programme d'assainissement des eaux.* D'ici la fin de l'année 1994, le raccordement du versant sud de la CUM devrait à lui seul entraîner une hausse de la consommation électrique d'environ 75.7 GWh/an.

4.1.2 L'efficacité énergétique hydraulique

Le Tableau 17 montre les données moyennes de consommation électrique calculées pour les divers types de traitement des eaux employés au Québec. Ainsi, il appert que plus de 45.4 % de l'énergie électrique est employée pour les stations de type physico-chimique (principalement l'usine de la CUM). Les stations de type boues activées et biofiltration consomment respectivement 21.9 et 13.8 % de l'énergie, alors que les stations de type étangs aérés sont responsables de 18.6 % des besoins énergétiques. Les autres systèmes de traitement (biodisques, fosses septiques communes et étangs non-aérés) ne représentent qu'une très faible portion (< 0.5 %) de la demande énergétique électrique.

Pour ce qui est de l'efficacité énergétique hydraulique globale (EEH), des valeurs moyennes se situant entre 0.203 et 0.749 kWh/m³ ont été déterminées pour les divers types de stations d'épuration. *Globalement, il ressort de cette analyse que 0.251 kWh d'énergie électrique est dévolue au traitement de chaque mètre cube d'eaux usées municipales.* Ces valeurs ont été établies à partir de la somme des consommations électriques divisée par la somme des débits hydrauliques.

⁶ Les données accessibles actuellement ne permettent pas de juger la validité de cette hypothèse.

Tableau 17. Bilan de la consommation électrique globale de l'épuration des eaux usées municipales au Québec en fonction de la charge hydraulique

Type de traitement	Nombre de stations	Population desservie	Débit hydraulique (m ³ /d)	CE (kWh/d)	EEH (kWh/m ³)
Boues activées	31	660 920	512 740	169 322	0.330
Biodisques	5	4 710	3 510	2 630	0.749
Biofiltration	5	567 100	429 530	106 500	0.248
Étangs aérés	150	497 550	402 000	143 400	0.357
Fosses septiques	3	669	309	177	0.573
Physico-chimiques	2	1 235 000	1 727 300	351 238	0.203
Total	196	2 965 947	3 075 436	773 220	0.251

L'efficacité énergétique hydraulique varie beaucoup d'une station à l'autre. La moyenne par station (non pondérée) de la consommation d'énergie électrique est de 0.519 ± 0.297 kWh/m³. Cette valeur est nettement plus élevée que la valeur moyenne de consommation résultant de la somme de consommation électrique divisée par la somme des débits d'eaux traités. Ceci s'explique en bonne partie par la faible efficacité énergétique hydraulique des stations d'épuration de type étang aéré traitant de faibles débits d'eaux usées. On calcule une valeur moyenne par station d'étangs aérés de 0.515 ± 0.280 kWh/m³, alors que la moyenne pondérée pour ce type de station est de 0.357 kWh/m³. Ainsi, il appert que généralement les petites stations de type étangs aérés sont nettement moins efficaces énergétiquement que les stations de dimensions plus importantes. Cette conclusion peut également être tirée pour les autres systèmes de traitement des eaux usées. Par exemple, pour les stations de type de boues activées, une valeur moyenne de 0.550 ± 0.283 kWh/m³ est obtenue, alors que la moyenne globale pondérée est de 0.330 kWh/m³. De même, pour les autres systèmes avec des valeurs moyennes par station de 0.800 ± 0.585 , 0.338 ± 0.124 , 0.717 ± 0.685 et 0.234 ± 0.044 kWh/m³ pour les stations de biodisques, biofiltration, fosses septiques communes et physico-chimiques. L'observation de la Figure 3 permet également de constater que, de façon générale, les stations de faibles capacités présentent une efficacité énergétique hydraulique plus faible que les stations ayant un fort débit hydraulique.

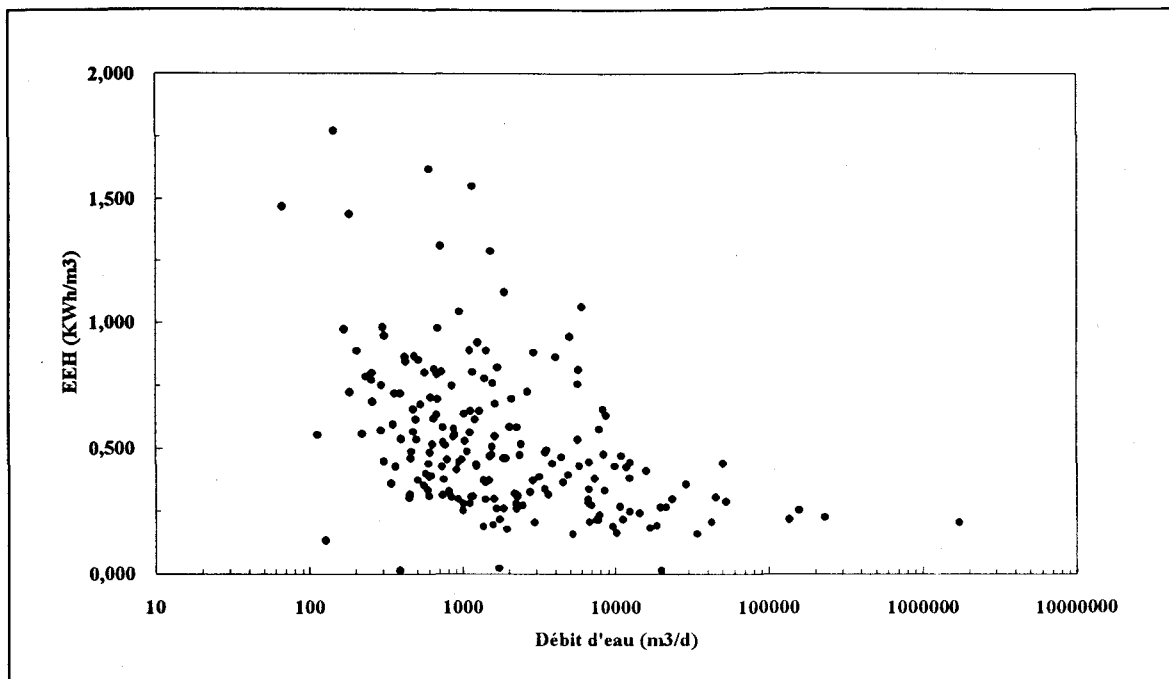


Figure 3. Variation de l'efficacité énergétique hydraulique (EEH) des stations québécoises en fonction de la charge hydraulique.

Bien que des différences significatives soient observées entre les valeurs de EEH des diverses stations d'épuration, une très bonne corrélation ($r^2 : 0.997$) est mesurée pour l'ensemble des 196 stations d'épuration en ce qui concerne la consommation électrique (CE) en fonction du débit hydraulique (DH) (Figure 4). La relation mathématique suivante est ainsi obtenue :

$$CE = 0.203 \times DH + 755 \quad (1)$$

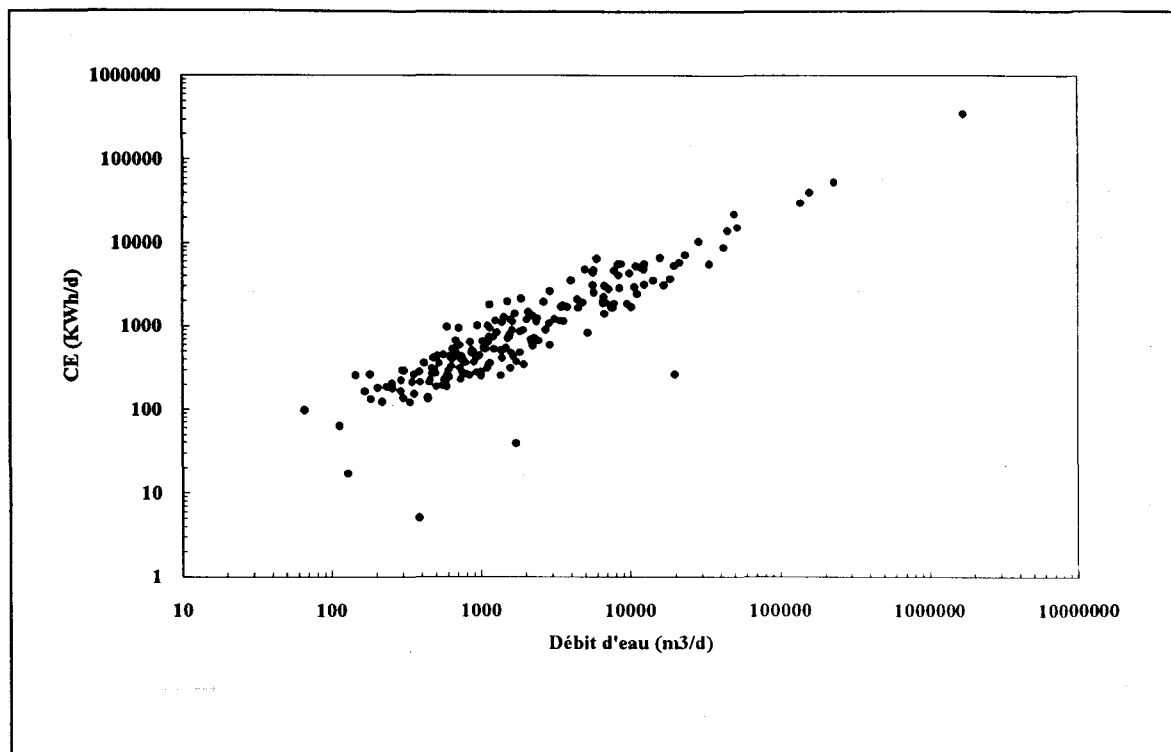


Figure 4. Profil global de la consommation électrique des stations québécoises en fonction de la charge hydraulique.

4.1.3 L'efficacité énergétique épuratoire

La consommation électrique totale pour l'ensemble des 172 stations d'épuration employées pour cette analyse est de 752 542 kWh/d, soit 84.6 % de la consommation électrique associée au traitement des eaux usées au Québec. De même, selon les données utilisées, 2 852 407 personnes sont reliées à ces 172 stations, soit l'équivalent de 83.2 % de la population totale desservie actuellement par des ouvrages d'assainissement au Québec. Les données de performance épuratoire (enlèvement de la DBO_5) qui ont été analysées proviennent du département de l'assainissement urbain du Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec. Les données de chaque station sont issues de la moyenne des mesures mensuelles des années 1992 et 1993 répertoriées par le MEF. Un total de 24 stations sur les 196 usines répertoriées par le MEF n'ont pu être incluses dans les analyses, les données de performance épuratoire n'étant pas disponibles. Pour les stations de la CUM et de la CUQ, les données utilisées proviennent directement des centrales d'opération de ces ouvrages d'assainissement.

Pour l'ensemble des types de traitement, la moyenne⁷ s'établit à 4.13 kWh pour l'enlèvement de chaque kilogramme de DBO₅. Les moyennes globales pondérées par type de traitement de l'efficacité énergétique épuratoire (EEE) se situent entre 2.56 et 12.69 kWh/kg DBO₅ enlevé (Tableau 18).

L'EEE moyenne par station, tous traitements confondus, est de 8.02 ± 5.29 kWh/kg DBO₅ enlevé. La moyenne par station est nettement plus élevée que par la valeur calculée à partir des sommes de charges organiques extraites et de consommation électrique. Ceci s'explique par la plus faible efficacité des étangs aérés traitant de faibles débits d'eaux usées.

La valeur moyenne de l'EEE par station de type étant aéré est de 8.37 ± 5.38 kWh/kg DBO₅ enl. alors que la moyenne pondérée est de 4.95 kWh/kg DBO₅ enlevé. Les petites stations présentent une performance énergétique épuratoire moins bonne que les stations de dimensions plus importantes.

Cette caractéristique est observée pour les autres systèmes de traitement des eaux usées. Par exemple, la valeur moyenne de l'EEE par station de type boues activées est de 6.79 ± 4.69 kWh/kg DBO₅ enlevé, alors que la moyenne pondérée est de 3.64 kWh/kg DBO₅ enlevé.

Le même phénomène est observé pour les autres systèmes avec des valeurs moyennes respectives de 2.90 ± 0.63 et 5.85 ± 1.23 kWh/kg DBO₅ enl. pour les stations de biofiltration et physico-chimiques. Pour les quatre stations de type biodisque, la moyenne des EEE individuelles est inférieure (10.93 ± 6.54 kWh/kg DBO₅ enl.) à celle obtenue de la somme des charges organiques extraites et de la consommation électrique (12.69 kWh/kg DBO₅ enl.). L'examen des Figures 5 et 6 permet également de constater que, généralement, les stations de faibles capacités présentent une efficacité énergétique épuratoire plus faible, que les stations de fortes capacités épuratoires ou hydrauliques.

⁷ Cette valeur a été établie à partir de la somme des consommations électriques de 172 stations d'épuration divisée par la somme des charges de DBO₅ enlevé (charge à l'affluent - charge à l'effluent de la station).

Tableau 18. Bilan de la consommation électrique globale de l'épuration des eaux usées municipales au Québec en fonction de la capacité épuratoire

Type de traitement	Nombre de stations	Population desservie	Capacité épuratoire (kg DBO ₅ enlevé/d)	CE (kWh/d)	EEE (kWh/kg DBO ₅ enl)
Boues activées	27	616 632	44 255	161 130	3.64
Biodisques	4	3 856	207	2 627	12.69
Biofiltration	4	559 400	40 493	103 470	2.56
Étangs aérés	135	437 519	27 107	134 077	4.95
Physico-chimiques	2	1 235 000	70 150	351 239	5.01
Total	172	2 852 407	182 212	752 542	4.13

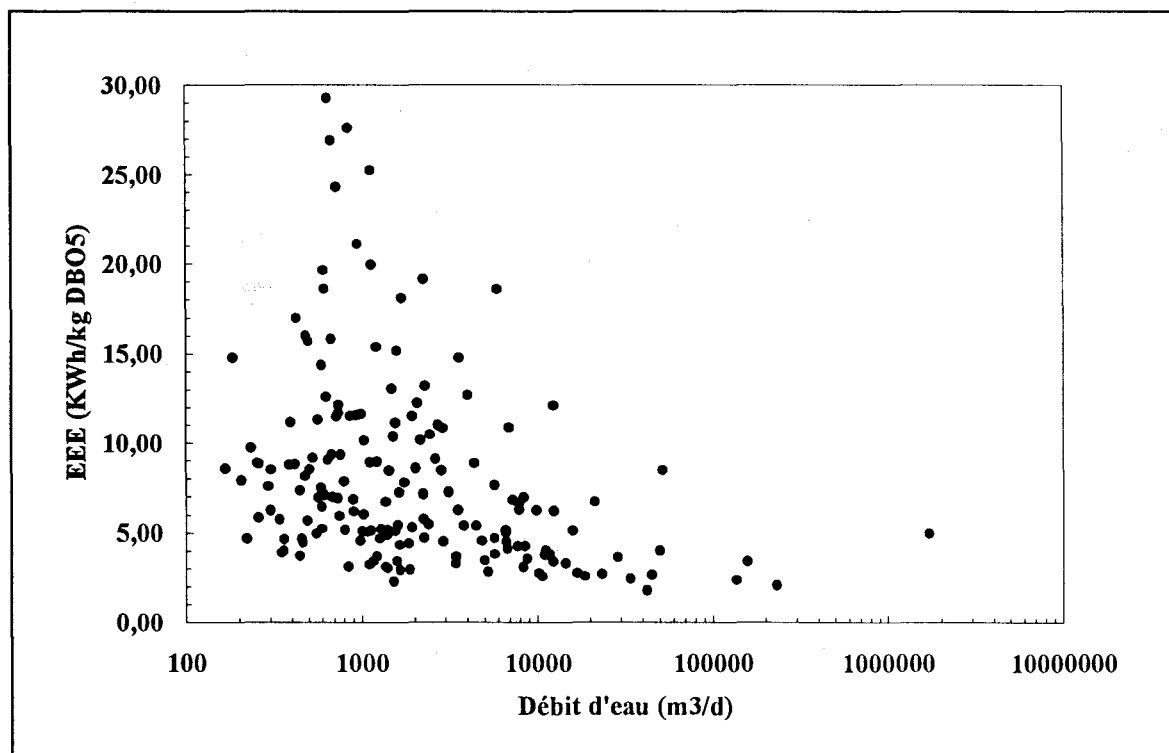


Figure 5. Variation de l'efficacité énergétique épuratoire (EEE) des stations québécoises en fonction de la charge hydraulique.

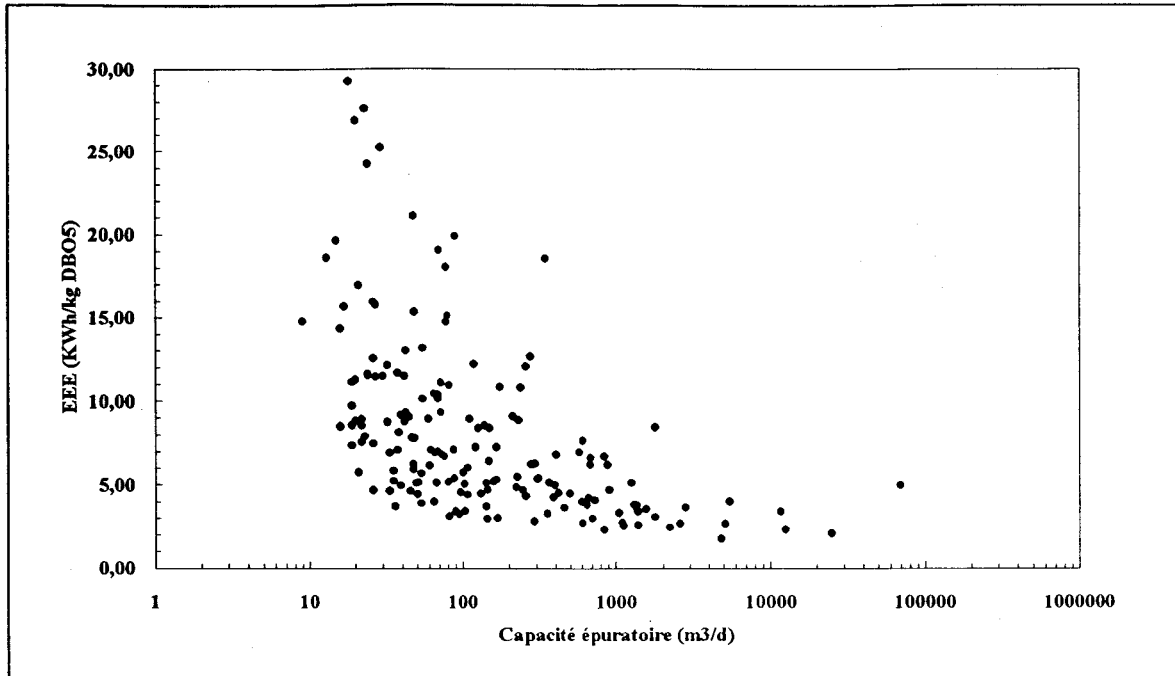


Figure 6. Variation de l'efficacité énergétique épuratoire (EEE) des stations québécoises en fonction de la capacité épuratoire.

Malgré les différences importantes mesurées entre les valeurs de EEE des divers stations d'épuration, une très bonne corrélation ($r^2 : 0.951$) est établie pour l'ensemble des 172 stations d'épuration en ce qui concerne la consommation électrique (CE) en fonction de la capacité épuratoire (DBO) (Figure 7). La relation mathématique suivante est ainsi obtenue :

$$CE = 4.549 \times DBO - 444 \quad (2)$$

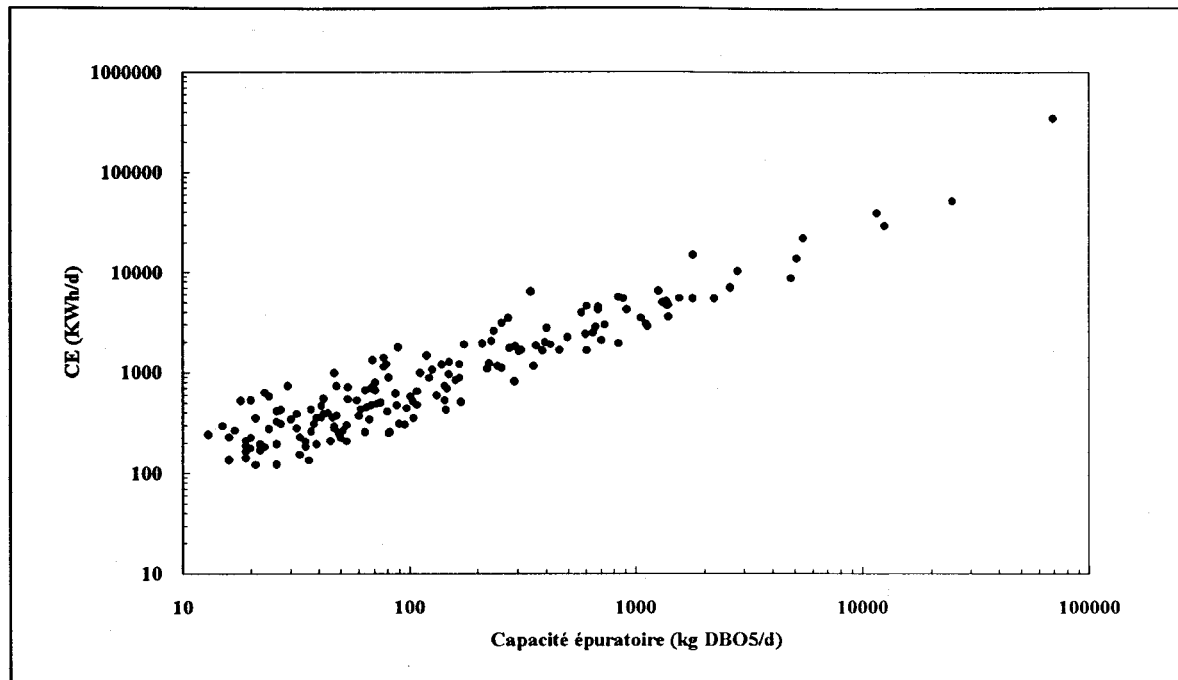


Figure 7. Profil global de la consommation électrique des stations québécoises en fonction de la capacité épuratoire.

4.1.4 Les coûts liés à la consommation d'électricité

Selon Burton Environmental Engineering *et al.* (1993), la consommation d'énergie électrique peut représenter entre 20 et 35% des coûts d'opération des stations d'épuration des eaux usées municipales. Plus spécifiquement, Owen (1982) avance que les coûts inhérents à la consommation électrique constitue approximativement 10 % des coûts totaux pour les stations d'épuration de type boues activées de faible capacité ($< 3\,786\text{ m}^3/\text{d}$) et peut représenter plus de 30 % du total, pour des stations de forte capacité ($< 378\,600\text{ m}^3/\text{d}$).

Le Tableau 19 permet d'apprécier les frais liés à la consommation d'énergie électrique dans les stations d'épuration québécoises. Ce bilan est basé sur la facturation émise par Hydro-Québec sur une période de 12 à 14 mois, pour les 196 stations d'épuration ayant fait l'objet de l'analyse précédente. Rappelons que ces stations qui consomment 773 220 kWh/d, traitent 86.9% du débit total d'eaux usées. Tenant compte de ces données, la consommation totale des usines en opération peut être estimée à 889 780 kWh/d. En considérant, que les stations de pompage hors usine consomment 21% de cette valeur, soit 186 854 kWh/d, la dépense électrique totale dévolue à l'épuration des eaux usées municipales peut être établie à environ 1 076 635 kWh/d, soit 39.2% de plus que celle décrite au Tableau 19. En effet, les analyses présentées dans ce tableau ne tiennent pas compte des postes de pompage hors usine et considèrent uniquement les 196 stations répertoriées, soit 86.9 % du débit total d'eaux usées. En considérant la totalité des eaux usées traitées et

les postes de pompage hors usine, *un montant total annuel de 23 920 470 \$* serait consacré directement à la consommation d'énergie électrique dans les stations d'épuration québécoises.

Si l'on considère la population desservie par les ouvrages d'assainissement municipaux, il en coûte en électricité approximativement 5.81 \$ par année pour chaque individu raccordé aux stations d'épuration des eaux. Cet estimé ne comprend toutefois pas les stations de pompage hors usine. En considérant que celles-ci consomment 21 % de l'énergie électrique utilisée dans les stations, *les frais annuels peuvent être établis à 7.03 \$/personne.*

Les coûts opératoires en électricité sont également exprimables par rapport au débit d'eau traité ou encore à la charge organique enlevée des eaux usées lors du traitement. Le Tableau 19 montre que par rapport à la quantité totale d'eaux usées traitées et de la consommation globale d'électricité dans les stations, il en coûte pour l'énergie électrique 1.534 ¢/m³ d'eau épuré, ou encore 25.83 ¢/kg DBO₅ enlevé. En ajoutant 21% à ces valeurs, pour tenir compte du pompage hors usine, les coûts hydraulique et épuratoire pour la situation québécoise, peuvent être estimés à respectivement 1.856 ¢/m³ d'eau traité et 31.25 ¢/kg DBO₅ enlevé.

La facturation d'Hydro-Québec pour les stations d'épuration est fonction de trois variables importantes, soit la consommation totale d'électricité, la puissance appelée maximale et le nombre d'heures d'utilisation excédant la puissance souscrite. Ainsi, dans les cas où la station d'épuration fait appel régulièrement à une puissance électrique dépassant la puissance souscrite, il en résultera une hausse significative des frais en électricité. Le Tableau 19 montre qu'en moyenne pour les 196 stations d'épuration examinées, le coût de l'énergie électrique basé sur la consommation électrique est de 6.10 ± 2.96 ¢/kWh.

Tableau 19. Bilan des coûts en électricité associés à l'épuration des eaux usées municipales au Québec

Type de traitement	Montant facturé (\$/an)	Montant individuel (\$/an.pers.)	Coût unitaire de l'énergie (¢/kWh)	Coût hydraulique (¢/m ³)	Coût épuratoire (¢/kg DBO ₅ enlevé)
Boues activées	3 409 405	5.25	5.57 ± 0.52	1.849	21.11
Biodisques	68 400	14.52	7.12 ± 3.12	5.336	90.53
Biofiltration	2 406 253	4.24	6.19 ± 0.85	1.535	16.28
Étangs aérés	3 217 468	6.47	6.15 ± 3.30	2.193	32.52
Fosses septiques	4 516	6.74	7.03 ± 1.52	4.017	-
Physico-chimiques	7 487 011	6.06	5.84 ± 0.00	1.188	29.24
Total	17 179 251	5.81	6.10 ± 2.96	1.534	25.83

4.1.5 La demande de puissance

L'établissement de la demande de puissance électrique appelée permet d'établir les facteurs de pointe de puissance (FP). Ce paramètre peut se définir comme étant le rapport entre la puissance maximale appelée dans une période de temps donnée et la puissance moyenne utilisée durant cette même période. Dans le cadre de la présente analyse, la puissance moyenne pour chaque station résulte de la division de la consommation électrique journalière moyenne par le nombre d'heures par jour (PM = CE/24). Les valeurs de puissance appelée proviennent des données de facturation d'Hydro-Québec. Pour chaque station, une valeur de puissance appelée (PA) a été établie à partir de la moyenne des données mensuelles. L'analyse de la puissance électrique est basée sur un total de 143 stations (27 BA, 4 BD, 4 BF, 106 EA et 2 PC).

Les Tableaux 20 et 21 présentent une synthèse de la demande de puissance dans les stations d'épuration des eaux usées québécoises. Ainsi, à l'heure actuelle, la demande moyenne mensuelle de puissance appelée de l'ensemble des ouvrages d'assainissement municipaux peut être estimée à 44.4 MW, ceci excluant les équipements hors usines non raccordés. Il faut cependant noter que cette valeur est sous-estimée, compte-tenu de la demande de puissance excédentaire coïncidente, survenant notamment lors des fortes précipitations ou de la fonte des neiges. Pour les diverses stations examinées, la puissance appelée moyenne se situe entre 11 et 19 636 kW, avec une valeur moyenne de 311 kW.

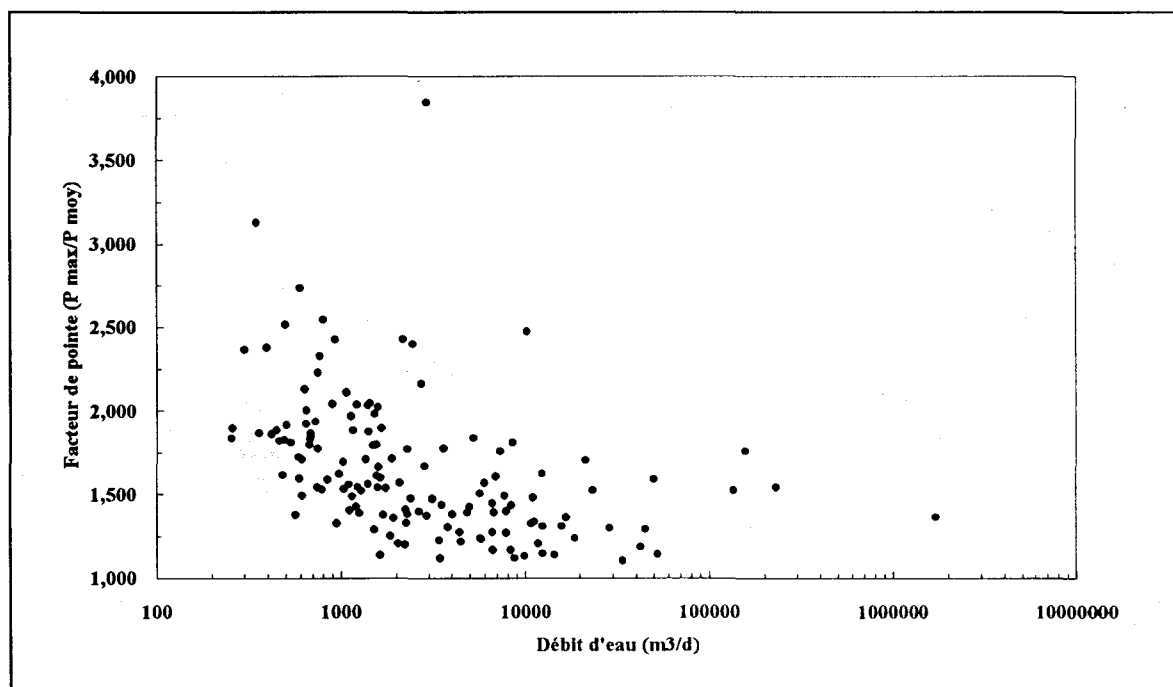
Tableau 20. Bilan global de la puissance électrique appelée lors de l'épuration des eaux usées municipales au Québec

Type de traitement	CE _{total} (kWh/d)	PA _{total} (kW)	PA _{min} (kW)	PA _{max} (kW)	PA _{moy} (kW)
Boues activées	161 129	9 447	37	1 869	350
Biodisques	2 626	193	26	110	48
Biofiltration	103 470	7 015	319	3 347	1 754
Étangs aérés	126 724	7 746	11	266	73
Physico-chimiques	351 239	20 037	401	19 636	10 018
Total	745 188	44 438	11	19 636	311

La fluctuation de la puissance électrique appelée constitue l'un des problèmes les plus importants en gestion de la demande. Le facteur de pointe permet d'apprécier l'importance des crêtes de pointe survenant dans les stations d'épuration. Le Tableau 21 identifie les facteurs de pointe minimum, maximum et moyen pour l'ensemble des ouvrages et pour les divers types de traitement. Pour les 143 stations examinées, le facteur de pointe calculé varie entre 1.104 et 3.845, avec une moyenne globale de 1.649 ± 0.417 . Cette valeur signifie qu'en moyenne, sur une base mensuelle, la puissance maximale appelée excède de 65 % la puissance moyenne utilisée durant cette période. À l'exception des unités de biodisques, les divers systèmes de traitement présentent des facteurs de pointe relativement semblables, variant entre 1.439 et 1.688. En ce qui concerne la fluctuation de la puissance appelée en fonction de la taille des stations, la Figure 8 montre que, de manière générale, les facteurs de pointe les plus importants sont associés aux stations de faible capacité hydraulique.

Tableau 21. Variation du facteur de pointe de puissance (FP) lors de l'épuration des eaux usées municipales au Québec

Type de traitement	FP _{min}	FP _{max}	FP _{moy}
Boues activées	1.141	2.033	1.439 ± 0.206
Biodisques	1.487	2.426	2.127 ± 0.435
Biofiltration	1.525	1.757	1.612 ± 0.106
Étangs aérés	1.104	3.845	1.688 ± 0.443
Physico-chimiques	1.364	1.704	1.534 ± 0.241
Total	1.104	3.845	1.649 ± 0.417

**Figure 8. Variation du facteur de pointe de puissance électrique des stations québécoises en fonction de la charge hydraulique.**

L'observation du Tableau 22 montre que la consommation électrique aux États-Unis par les systèmes de traitement des eaux usées est de 0.335 kWh/m^3 . Il est prévu que l'efficacité électrique hydraulique atteindra de 0.381 kWh/m^3 en l'an 2010, à la suite de l'amélioration des systèmes de traitement exigée par la législation environnementale américaine (Burton Environmental Engineering *et al.*, 1993). La valeur moyenne plus faible de l'EEH pour les stations d'épuration

québécoises (0.251 kWh/m^3) s'explique par le niveau moins avancé de traitement des eaux usées. Par exemple, une fraction plus importante des eaux usées est épurée par des systèmes de boues activées aux États-Unis. De plus, ceux-ci emploient fréquemment, contrairement au Québec, une étape de nitrification biologique, laquelle augmente la consommation d'électricité de la station. De plus, le traitement des boues d'épuration est plus complet aux États-Unis. Dans une étude comparative sur l'utilisation de l'énergie électrique dans cinq stations de traitement des eaux usées de petite dimension ($< 17\,280 \text{ m}^3/\text{d}$) de la Floride, Young et Koopman (1991) font état d'une consommation énergétique variant entre 0.39 et 1.17 kWh/m^3 et d'une efficacité énergétique épuratoire se situant entre 3.7 et 7.2 kWh/kg DBO_5 enlevé. Le facteur de pointe de puissance électrique de ces cinq stations américaines variait entre 1.2 et 1.9 . Les stations examinées par ces chercheurs étaient de type boues activées et biofiltration. Les Figures 9 à 11 tirées de Burton Environmental Engineering et al. (1993) viennent confirmer les résultats obtenus au Québec, à savoir que les petites stations sont moins efficaces énergétiquement (EEH) que les stations de dimensions plus importantes. Le prochain chapitre présentera d'ailleurs une analyse approfondie de la consommation électrique par type de traitement employé.

Tableau 22. Bilan électrique global de l'épuration des eaux usées municipales aux États-Unis

Niveau de traitement	DH 1988 (m^3/d)	DH 2010 (m^3/d)	CE 1988 (kWh/d)	CE 2010 (kWh/d)	EEH (kWh/m^3)
< secondaire	14 538 000	1 458 000	2 538 200	254 500	0.175
Secondaire	46 500 000	71 896 000	14 885 800	23 015 900	0.320
> secondaire (actuel)	44 769 000	-	18 659 900	-	0.417
> secondaire (prévu)	-	87 521 000	-	39 900 000	0.456
Aucun rejet	2 987 000	6 697 000	315 600	707 600	0.106
Autre	-	30 000	-	3 200	0.106
Total (actuel)	108 794 000	-	36 399 500	-	0.335
Total (prévu)	-	167 602 000	-	63 881 200	0.381

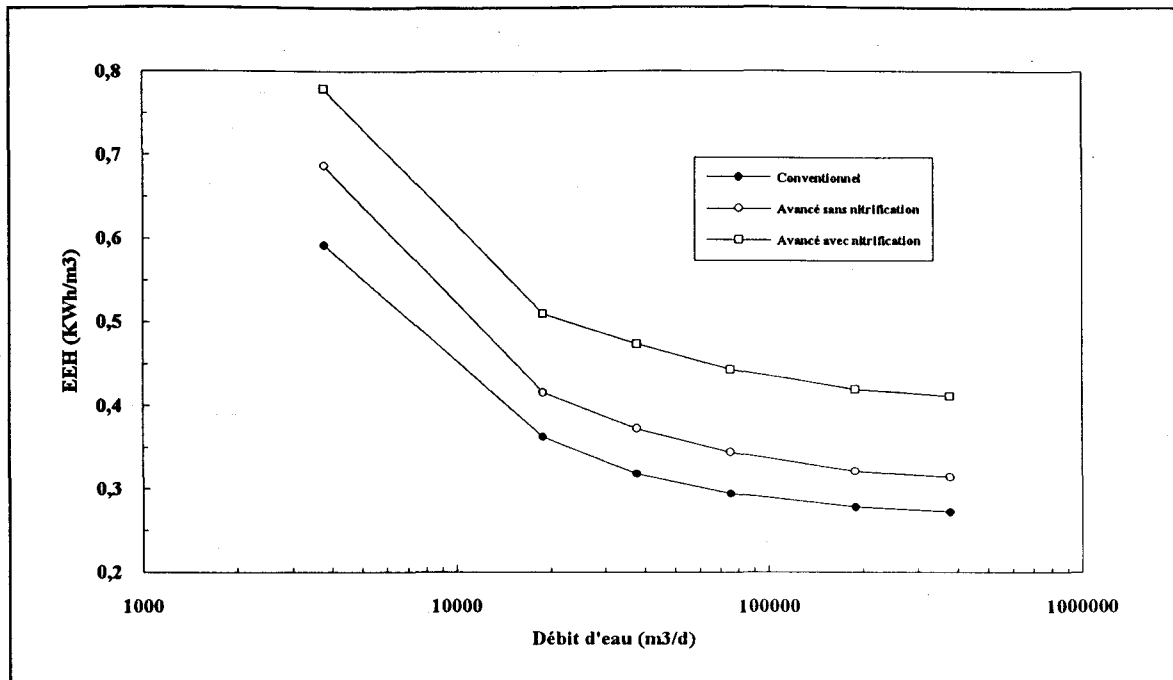


Figure 9. Variation de l'efficacité énergétique hydraulique (EEH) des stations américaines de type boues activées en fonction de la charge hydraulique.

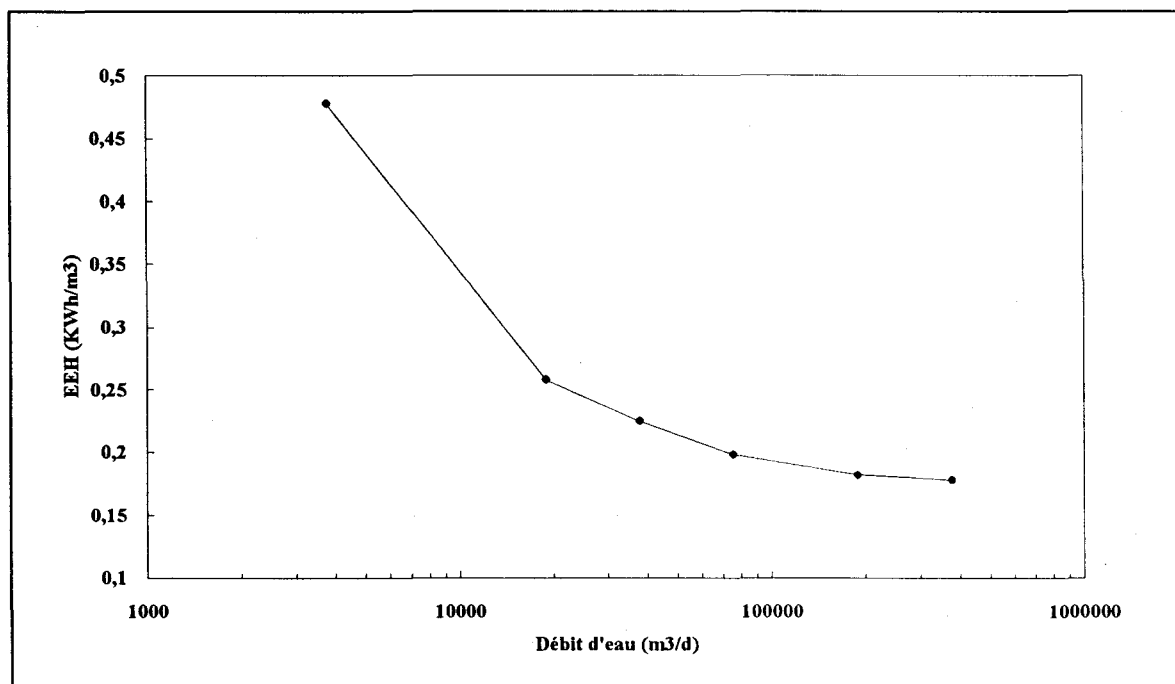


Figure 10. Variation de l'efficacité énergétique hydraulique (EEH) des stations américaines de type biodisques en fonction de la charge hydraulique.

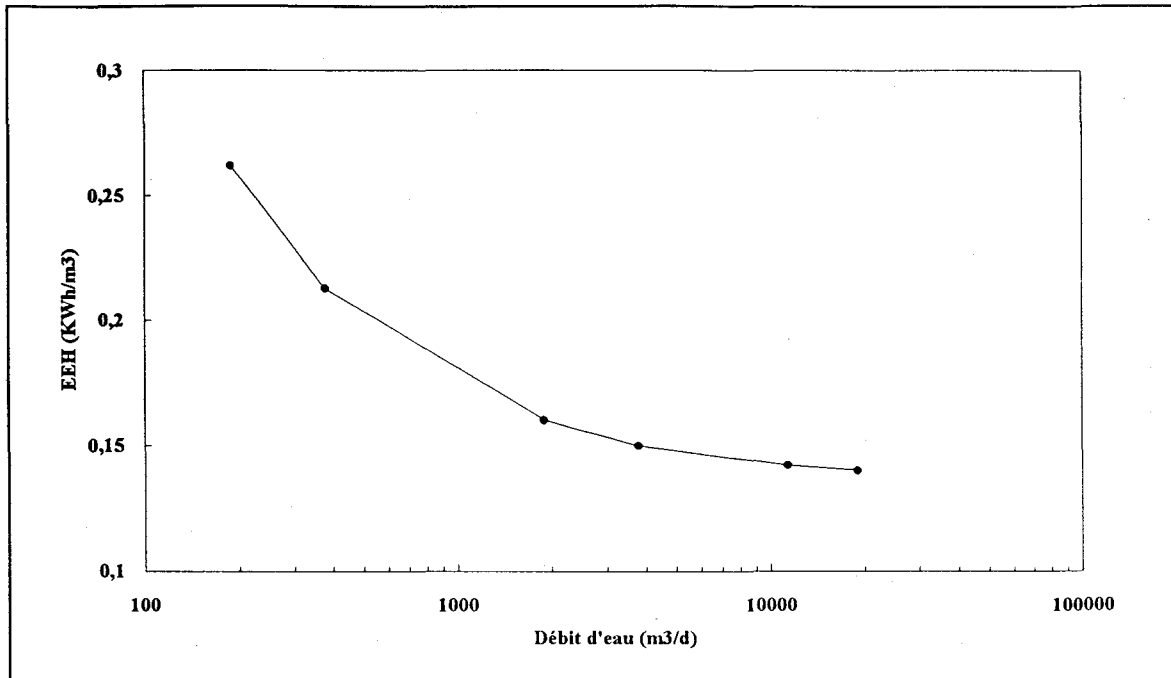


Figure 11. Variation de l'efficacité énergétique hydraulique (EEH) des stations américaines de type biofiltration en fonction de la charge hydraulique.

4.2 Fluctuation de la consommation

Les ouvrages d'assainissement des eaux usées opèrent de façon continue. Ils sont soumis à d'importantes fluctuations de charge hydraulique et organique. Ces variations de charge se rencontrent aussi bien sur une base diurne, journalière, hebdomadaire ou mensuel/saisonnaire. Ces perturbations des conditions opératoires se répercutent inévitablement sur la demande et la consommation électrique. Ainsi, les divers systèmes de traitement des eaux usées doivent être conçus de manière à être capable d'opérer adéquatement en période de pointe. Les équipements électriques installés dans les stations d'épuration seront donc, dans bien des cas, surdimensionnés en terme de puissance installée. Les sections suivantes discutent donc de l'importance des variations temporelles de charges à traiter sur la demande énergétique électrique.

4.2.1 Profil diurne de la consommation électrique

Une variation journalière appréciable de la charge organique et hydraulique de l'affluent est observable dans les stations d'épuration. Généralement, le débit d'eau à traiter ainsi que la charge en matière organique (DBO_5) atteignent leurs maximums dans le milieu de journée, entre 10 et 13 heures, ainsi que le soir entre 19 et 22 heures, puis diminuent progressivement jusqu'à un minimum observable dans les premières heures du matin, soit entre 3 et 5 heures.

Les profils de charge organique et hydraulique sont différents pour chaque municipalité. Cependant, les fluctuations les plus grandes (rapport maximum/minimum) sont habituellement mesurées dans les petites municipalités (Burton Environmental Engineering *et al.*, 1993). La Figure 12 montre les courbes de charge hydraulique et organique pour une station d'épuration américaine type traitant quotidiennement 38 000 m^3/d (10 millions gallons U.S./d) d'eaux usées. Les données obtenues pour la station d'épuration de la Communauté Urbaine de Québec (CUQ-Est) montre un profil de charge hydraulique correspondant assez bien à ce qui a été mesuré pour les stations américaines (Figure 13).

Comme il a été mentionné précédemment, les profils de charge organique et hydraulique peuvent fluctuer selon les municipalités. La station d'épuration de la CUM est un parfait exemple de cet énoncé. Ainsi, les courbes typiques estivale et hivernale de variation de charge hydraulique de cette station montrent une courte période de pointe le matin entre 7 et 9 heures, suivie d'une longue période de pointe en après-midi, soit entre 14 et 18 heures. Une différence très importante est également observée pour cette station entre les profils typiques pour la journée d'été et d'hiver.

En considérant ces divers phénomènes, il appert qu'une étude spécifique des fluctuations diurnes des charges organiques et hydrauliques devrait être réalisée pour chaque station d'épuration, avant de pouvoir établir des mesures efficaces d'écrêtage de périodes de pointe.

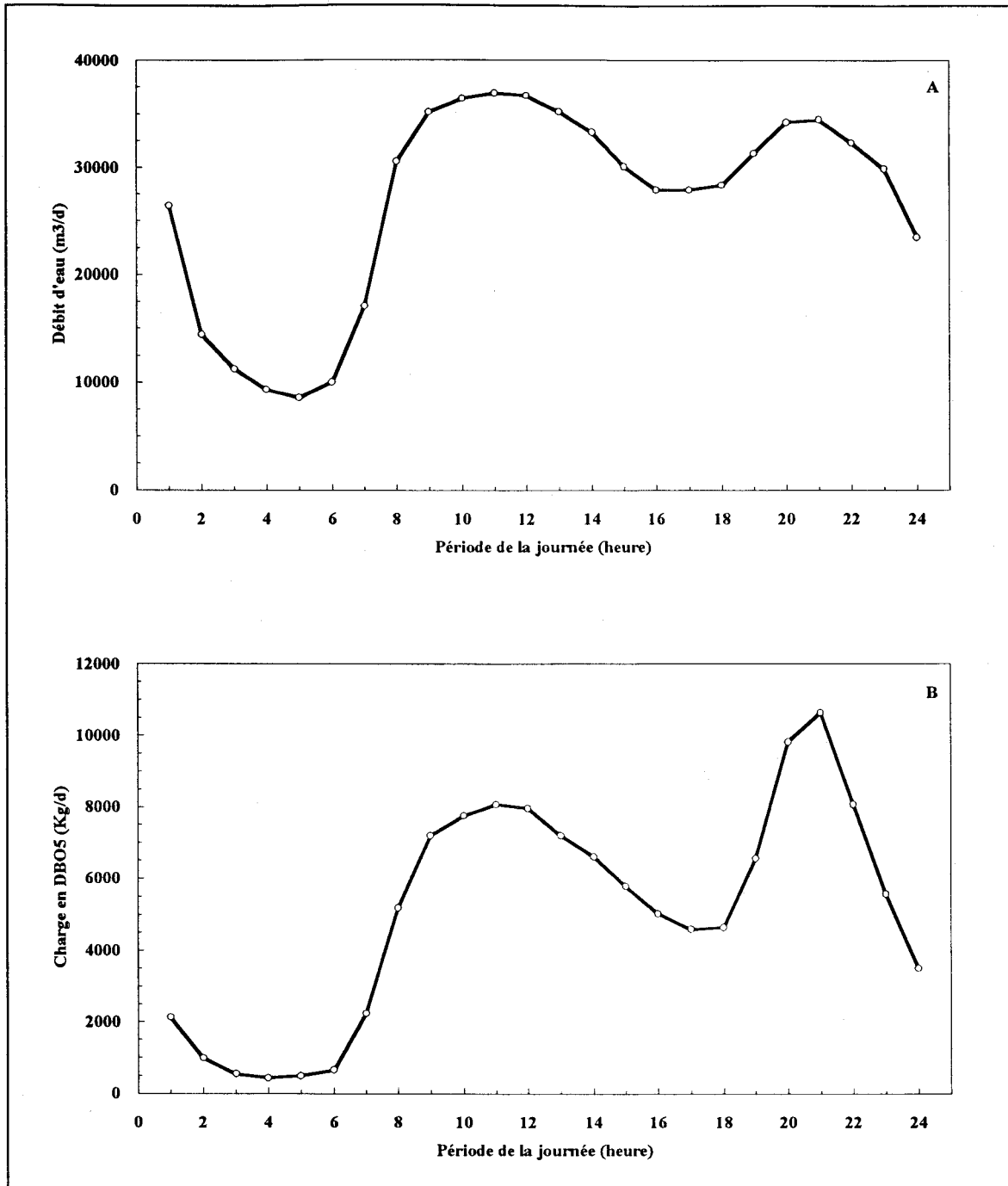


Figure 12. Profils diurnes des charges hydraulique (A) et organique (B) traitées par une station d'épuration américaine type.

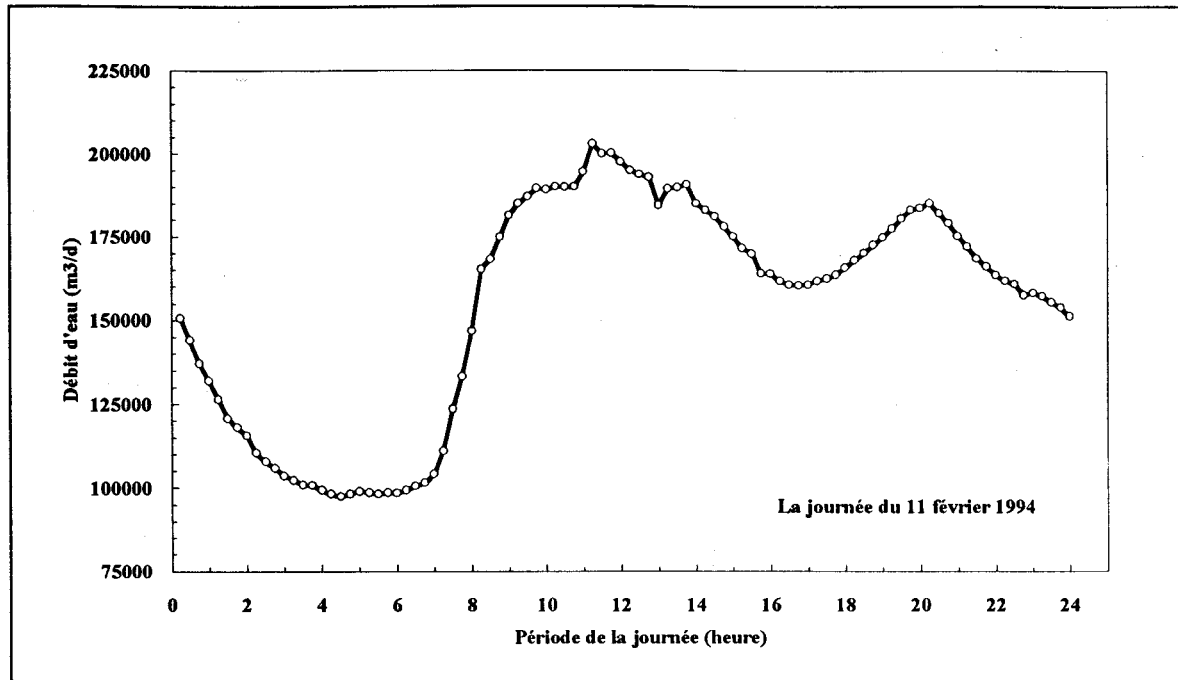


Figure 13. Profil diurne typique pour une journée d'hiver sans précipitation de la charge hydraulique traitée à l'usine de la CUQ-Est.

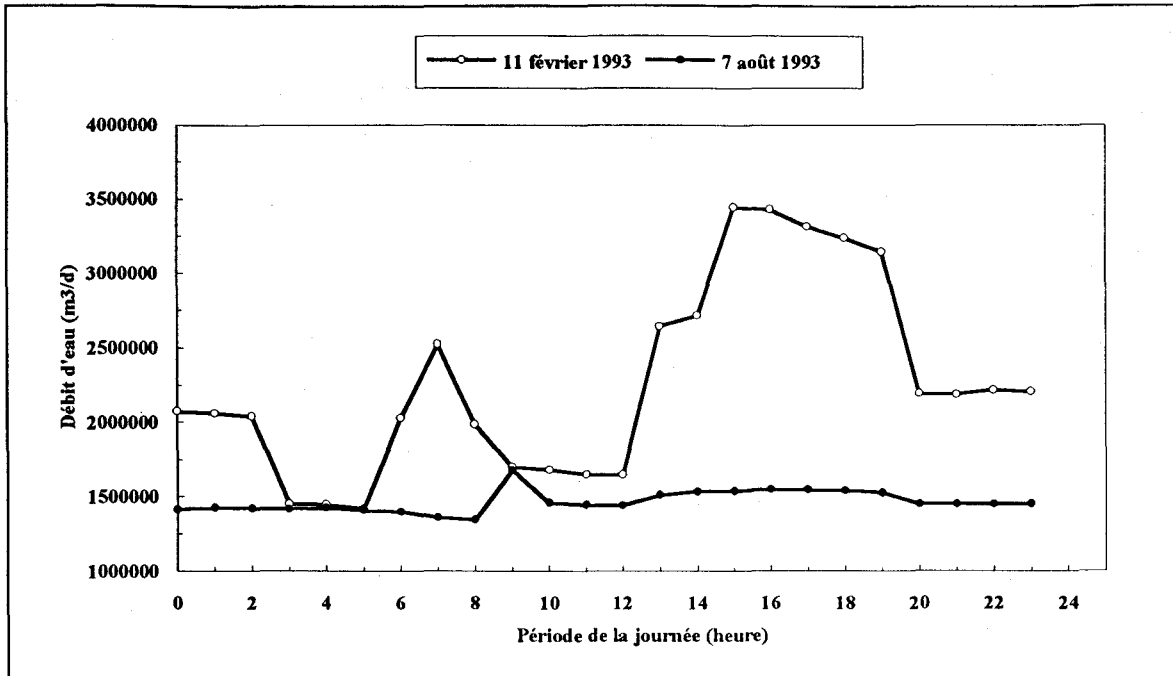


Figure 14. Profils diurnes typique pour une journée d'été et d'hiver sans précipitation de la charge hydraulique à la station d'épuration de la CUM. Symboles : (E) journée d'hiver; (J) journée d'été.

Le niveau de sollicitation des équipements électriques est lié au débit d'eau à traiter ou à la charge en matière organique. Ainsi, les variations diurnes de ces paramètres résulteront en une fluctuation de la demande électrique. La Figure 15 présente un profil-type diurne de consommation électrique pour une station d'épuration de type boues activées (conventionnelles et avancées avec nitrification) traitant un débit moyen de 38 000 m³/d (10 millions de gallons U.S./d). Cette figure montre les variations de la moyenne annuelle de la consommation électrique horaire (pour chaque heure de la journée) et les débits maximums pouvant survenir dans une journée. Durant les jours de pointe aussi bien que dans des conditions moyennes, le rapport entre les consommations extrêmes (maximale et minimale) et les consommations moyennes peut varier entre 1.5 et 2.0. Compte-tenu de la similitude des profils de charges hydrauliques entre les données québécoises et américaines, ce modèle diurne de consommation électrique peut être utilisé pour analyser la situation québécoise. Il faut toutefois prendre note que des profils distincts de demande de puissance électrique peuvent être dénotés pour certaines municipalités. La Figure 16 en montre un exemple évident pour la station d'épuration de la CUM.

De mauvaises conditions opératoires peuvent réduire considérablement les variations diurnes de consommation d'électricité. En effet, plusieurs stations ne possèdent pas de systèmes de contrôle qui permettent de gérer les fluctuations des charges organique et hydraulique. Ainsi, par exemple, les systèmes d'aération fonctionnant en régime constant entraîneront

alternativement une sous-aération et une sur-aération des boues activées. Bien que l'opération des équipements électriques en régime constant diminue les périodes de pointe, l'efficacité épuratoire des ouvrages d'assainissement peut ainsi en être grandement affectée. De plus, cette pratique résulte en une baisse de l'efficacité énergétique épuratoire, puisqu' une fraction non-négligeable de la quantité d'énergie électrique est utilisée en excès en dehors des périodes de pointe. *En ce sens, l'utilisation combinée de systèmes de contrôle tenant compte des fluctuations de charge (exemple, contrôle de l'aération par un suivi automatisé de l'oxygène dissous dans les bassins de boues activées, les étangs aérés et les digesteurs aérobies) et de bassins d'égalisation permettant de diminuer ces mêmes variations, constitue la meilleure approche pour maximiser l'efficacité énergétique épuratoire des stations d'épuration.*

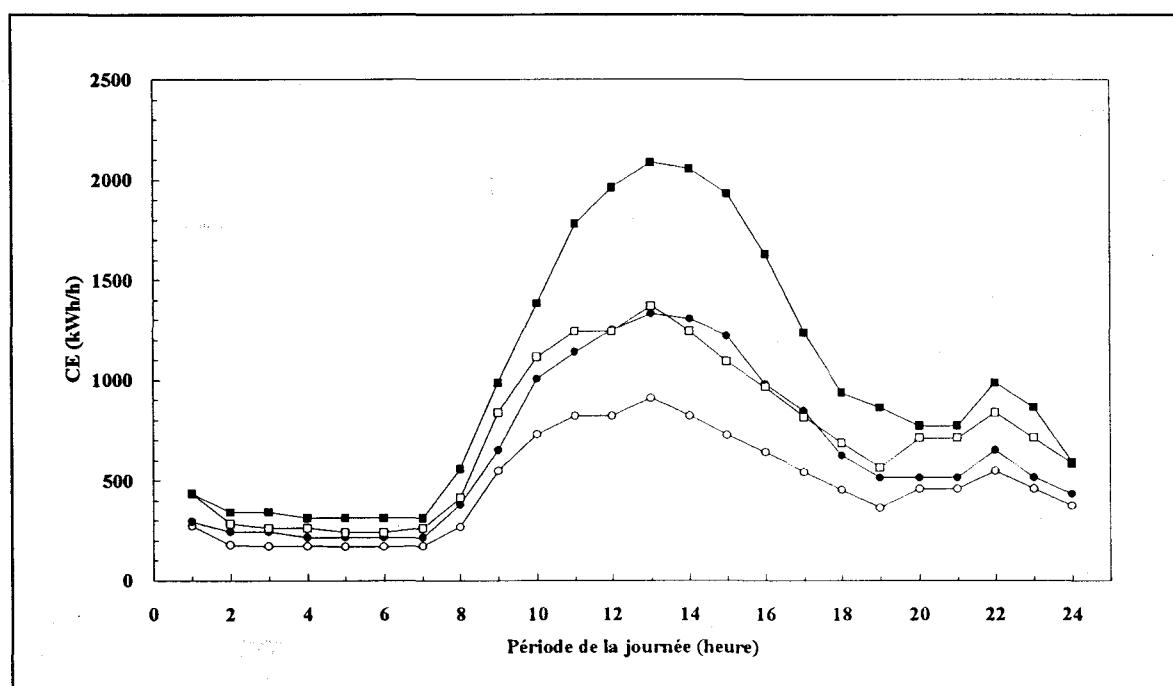


Figure 15. Profil diurne de la consommation électrique pour une usine-type de boues activées. Symboles : (E) B. A. conventionnelles - débit moyen; (J) B.A. conventionnelles - débit variable; (G) B.A. avancées avec nitrification - débit moyen; (B) B.A. avancées avec nitrification - débit variable.

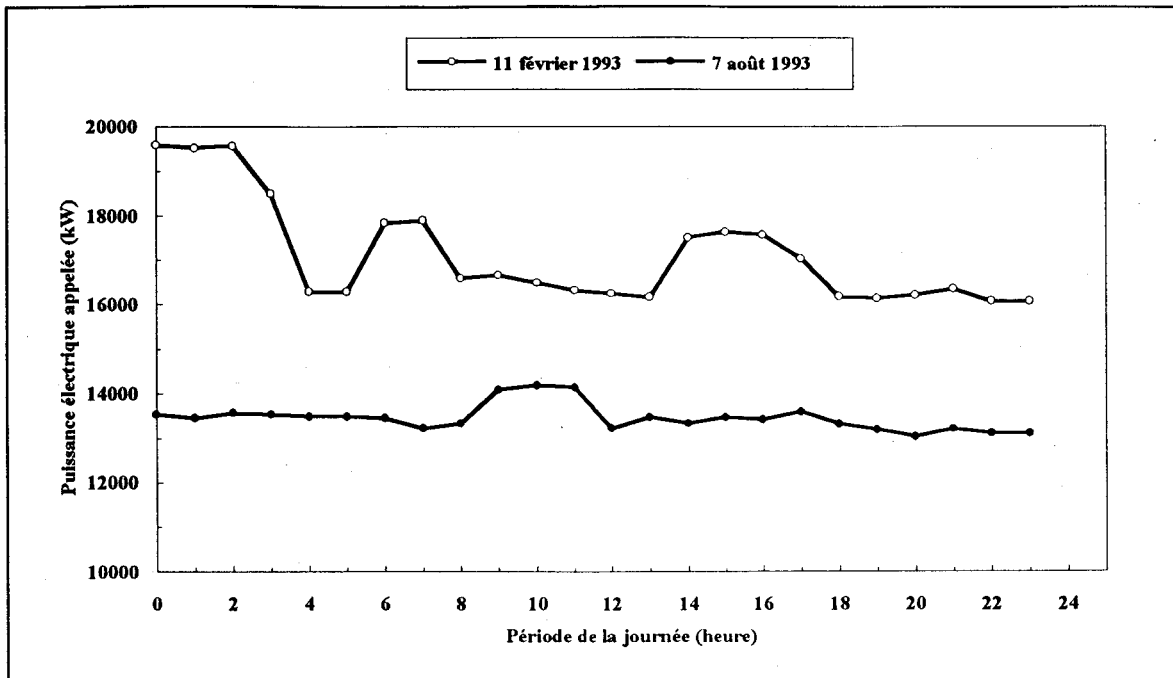


Figure 16. Profils diurnes typique pour une journée d'été et d'hiver sans précipitation de la demande de puissance appelée à la station d'épuration de la CUM. Symboles : (E) journée d'hiver; (J) journée d'été.

4.2.2 Profil quotidien de la consommation électrique

La section précédente décrivait les *fluctuations horaires* de la consommation électrique dans une station d'épuration. Ces variations résultent des cycles diurnes dans la production des charges organique et hydraulique. Des variations importantes de ces paramètres sont aussi observables d'un jour à l'autre au cours de l'année. La Figure 17 illustre ces fluctuations journalières de la charge hydraulique et de la consommation électrique pour chaque jour de l'année 1993 à la station d'épuration de la Communauté Urbaine de Montréal (CUM).

Des différences marquées sont observées entre les débits hydrauliques minimum (1 100 000 m³/d) et maximum (3 900 000 m³/d) au cours de l'année (Figure 17A). De même, une modification de plus de 1 960 000 m³/d a été mesurée sur une période de deux jours. Pour cette station d'épuration, la déviation standard de la charge hydraulique de 477 400 m³/d, ce qui correspond à 27.6 % du débit moyen. Les fluctuations quotidiennes de charge hydraulique sont attribuables en bonne partie aux précipitations et à la gestion des divers systèmes d'assainissement. Elles font fluctuer la consommation électrique journalière (Figure 17B). Au cours de l'année 1993, la consommation électrique journalière à la station de la CUM a varié entre 280 000 et 557 000 kWh/d, avec une moyenne de 345 436 kWh/d. La déviation standard de la consommation

électrique se situe à 32 765 kWh/d, ce qui correspond à 9.5 % de la consommation moyenne.

On constate la consommation électrique dans les stations d'épuration fluctue moins que la charge hydraulique à traiter. Ceci s'explique en bonne partie par l'opération en régime constant de plusieurs équipements électriques intégrés au procédé de traitement. Ce mode d'opération sous-optimal des équipements électriques entraîne inévitablement des variations de l'efficacité énergétique hydraulique (EEH). La Figure 18 illustre, pour la station de la CUM, la variation de ce paramètre de première importance. À l'examen de cette figure on constate que l'EEH fluctue entre 0.10 et 0.28 kWh/m³. Pour l'année 1993, une valeur moyenne de 0.208 kWh/m³ a été calculée avec une déviation standard de 0.036 kWh/m³, soit 17.3 % de la valeur moyenne. Une telle variation de l'EEH peut avoir deux répercussions importantes : dans le cas de valeurs de EEH basses, il y a risque d'une baisse de l'efficacité épuratoire résultant dans certains cas, d'un apport insuffisant d'oxygène; dans le cas de valeurs de EEH élevées, il y aura une perte énergétique injustifiée puisque non-compensée par une hausse de l'efficacité épuratoire.

Les fluctuations temporelles de charge organique et hydraulique dans les stations d'épuration se répercutent inévitablement sur la puissance électrique appelée. La Figure 19 présente d'une part, le profil de puissance appelée maximale (PA) pour chacun des jours de l'année 1993 à la station de la CUM et, d'autre part, la fluctuation du facteur de pointe de puissance (FP).

Pour cette station d'épuration, la moyenne de puissance électrique maximale appelée à chaque jour, au cours de l'année 1993, a été de 16 992 kW. Des fluctuations importantes de la puissance appelée ont été mesurées durant cette période, soit entre 13 860 et 30 300 kW. Il faut toutefois noter que les valeurs de puissance les plus élevées (> 20 000 kW) ont été observées pour les deux derniers mois de l'année 1993 et peuvent être attribuées, en bonne partie, au raccordement du réseau du versant sud, résultant en une hausse importante du débit d'eaux usées à traiter.

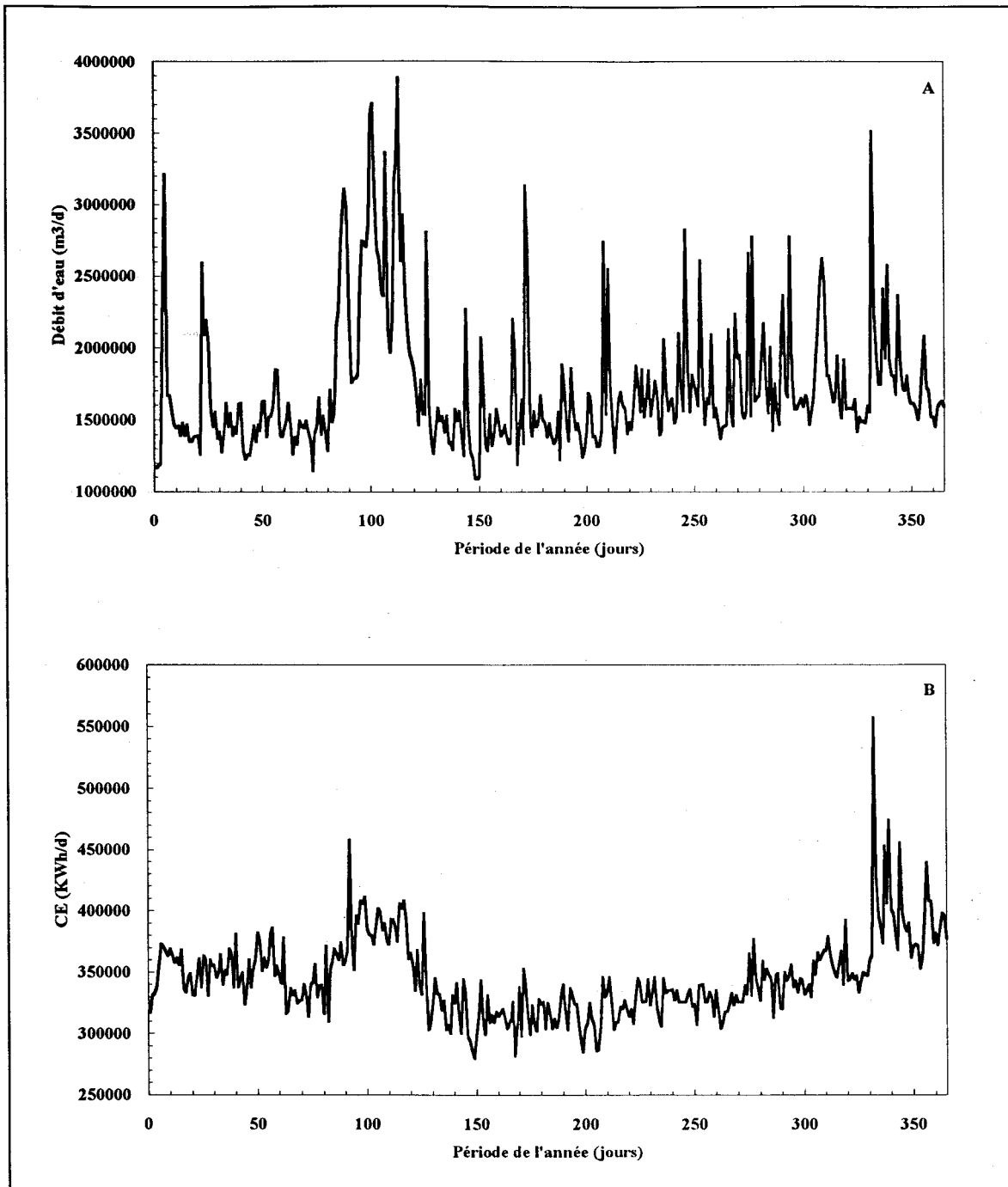


Figure 17. Variations de la charge hydraulique (A) et de la consommation électrique (B) au cours de l'année 1993 à la station d'épuration de la CUM.

À la station de la CUM, une valeur moyenne de 1.181 a été déterminée comme facteur de pointe de puissance. Ceci signifie qu'en moyenne sur une base annuelle la puissance maximale appelée dans une journée excède de 18 % la puissance électrique moyenne utilisée durant cette journée. Il faut toutefois tenir compte que le facteur de pointe de puissance atteint fréquemment une valeur de 1.30 et que, malgré l'utilisation de génératrices au diesel en période de forte pointes, une valeur aussi élevée que 1.75 a été notée au cours de l'année 1993.

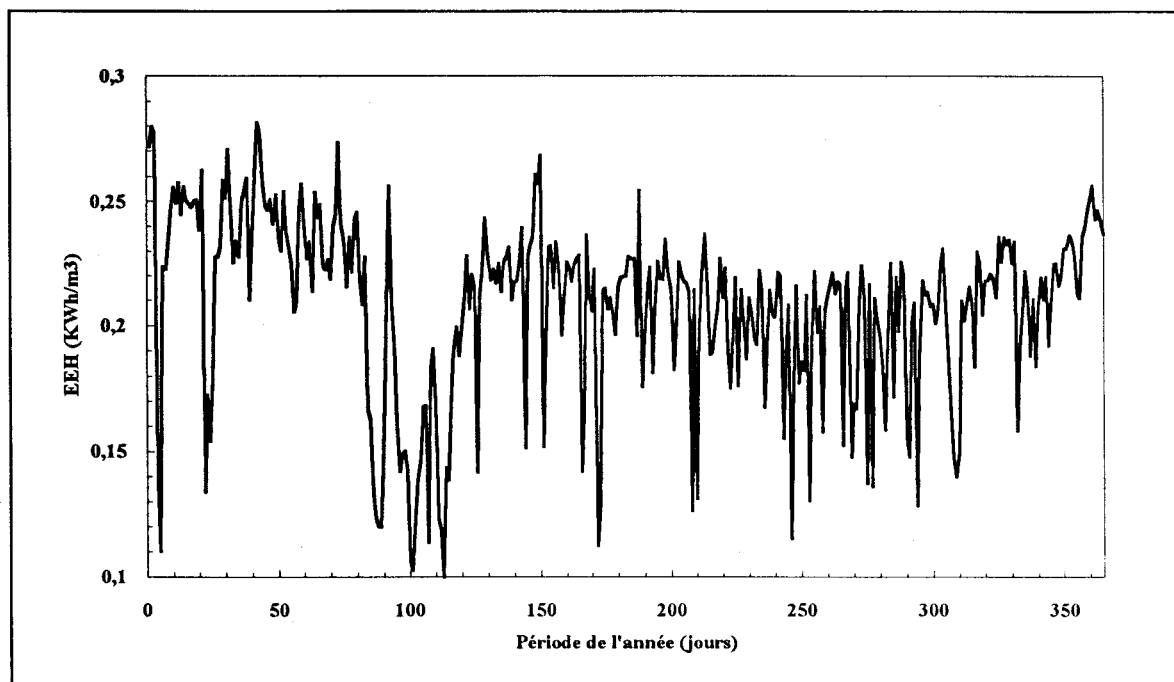


Figure 18. Fluctuations de l'efficacité énergétique hydraulique au cours de l'année 1993 à la station d'épuration de la CUM.

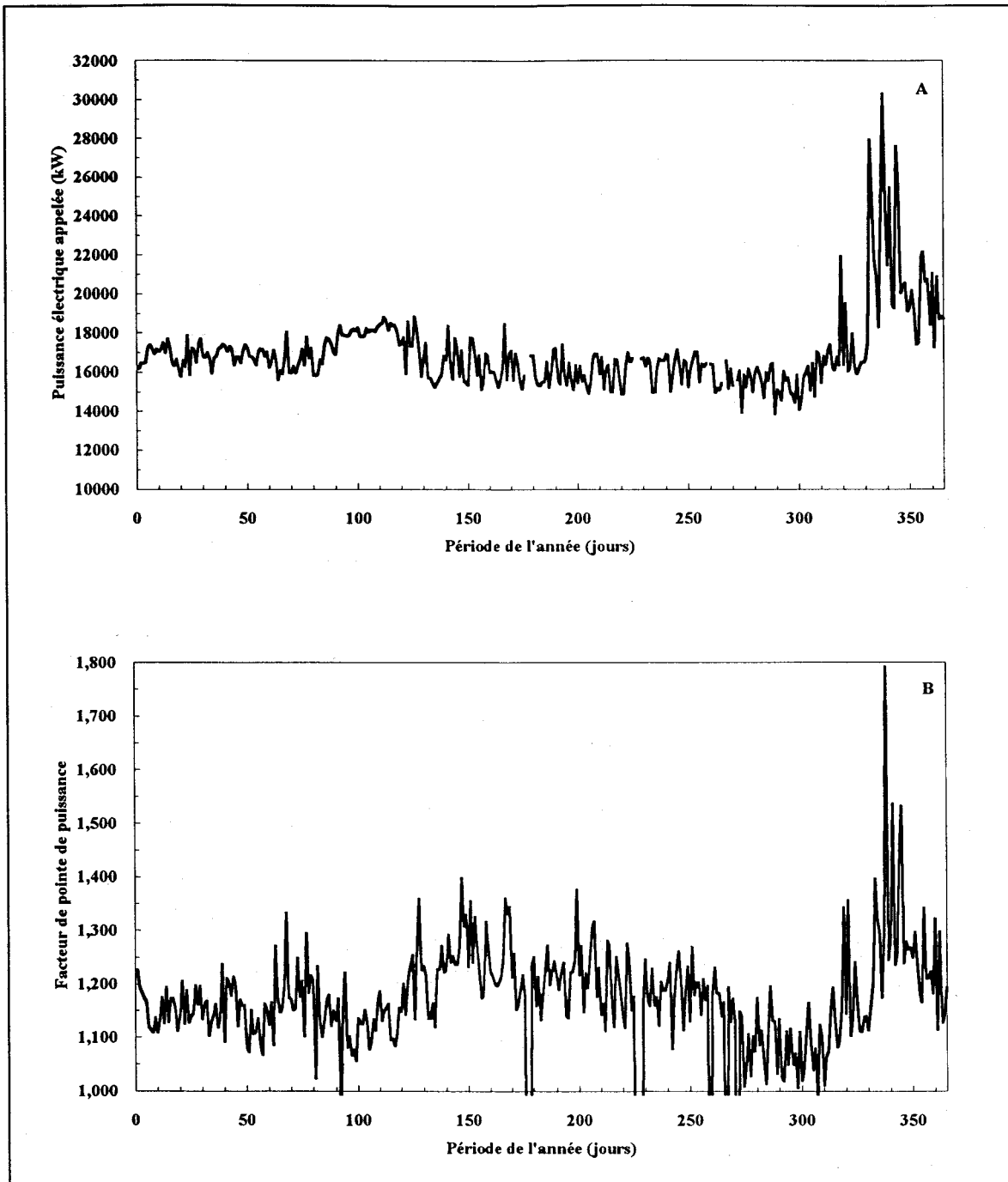


Figure 19. Variations de la puissance appelée et du facteur de pointe de puissance au cours de l'année 1993 à la station d'épuration de la CUM.

4.2.3 Profil hebdomadaire de la consommation électrique

Les activités domestiques et industrielles n'ont pas toutes la même intensité chaque jour de la semaine. Ces variations se traduisent par une fluctuation de la charge hydraulique aux stations d'épuration. La Figure 20 montre les débits moyens d'eaux usées traités à la station d'épuration de la CUM au cours de l'année 1993, pour les divers jours de la semaine. On remarque que les charges hydrauliques maximales se situent en début de semaine, soit les lundis et mardis, ainsi que le dernier jour de la période normale de travail, soit les vendredis. Une baisse des débits moyens d'eaux usées est notée pour les jours de fins de semaine, particulièrement les dimanches. Une différence de 9.3 % est mesurée entre les moyennes du mardi et du dimanche.

Ce profil de charge hydraulique se reflète en partie au niveau de la consommation électrique à la station. La consommation électrique moyenne des vendredis est toutefois supérieure aux lundis et mardis, ces deux jours se caractérisant par une charge hydraulique plus élevée. Les modes de gestion à l'usine des divers systèmes d'assainissement, notamment la préparation pour les jours de fins de semaine, pourraient expliquer cette hausse des besoins électriques. Une différence de 3.5 % est calculée entre les moyennes des vendredis et des dimanches.

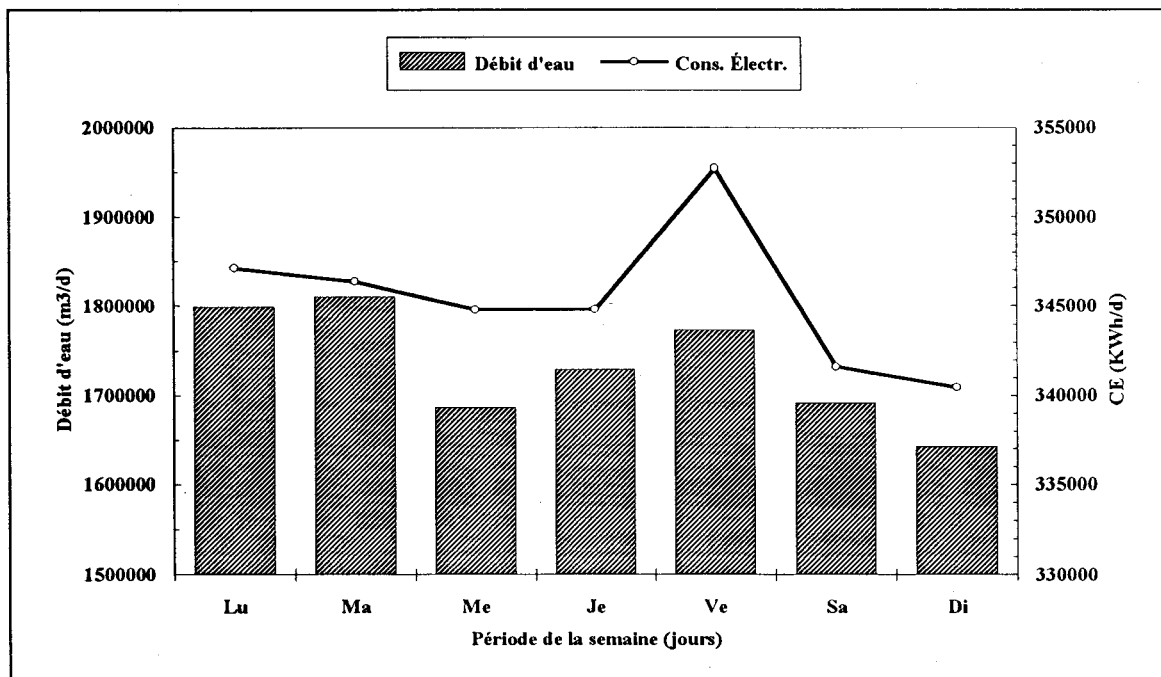


Figure 20. Variation hebdomadaire de la charge hydraulique et de la consommation électrique à la station d'épuration de la CUM.

Les profils de charge hydraulique et de consommation électrique peuvent également être mis en perspective en tenant compte de l'efficacité énergétique hydraulique (EEH) mesurée à chaque jour de la semaine. Ainsi, l'examen de la Figure 21 permet de constater que ce paramètre d'efficacité énergétique varie entre 0.191 et 0.207 kWh/m³, soit un écart de 7.7 % entre ces deux moyennes. Selon ces données, l'opération de la station de la CUM les premiers jours de la semaine (lundis et mardis) seraient légèrement plus efficaces (rapport consommation électrique/charge hydraulique) que le reste des autres jours.

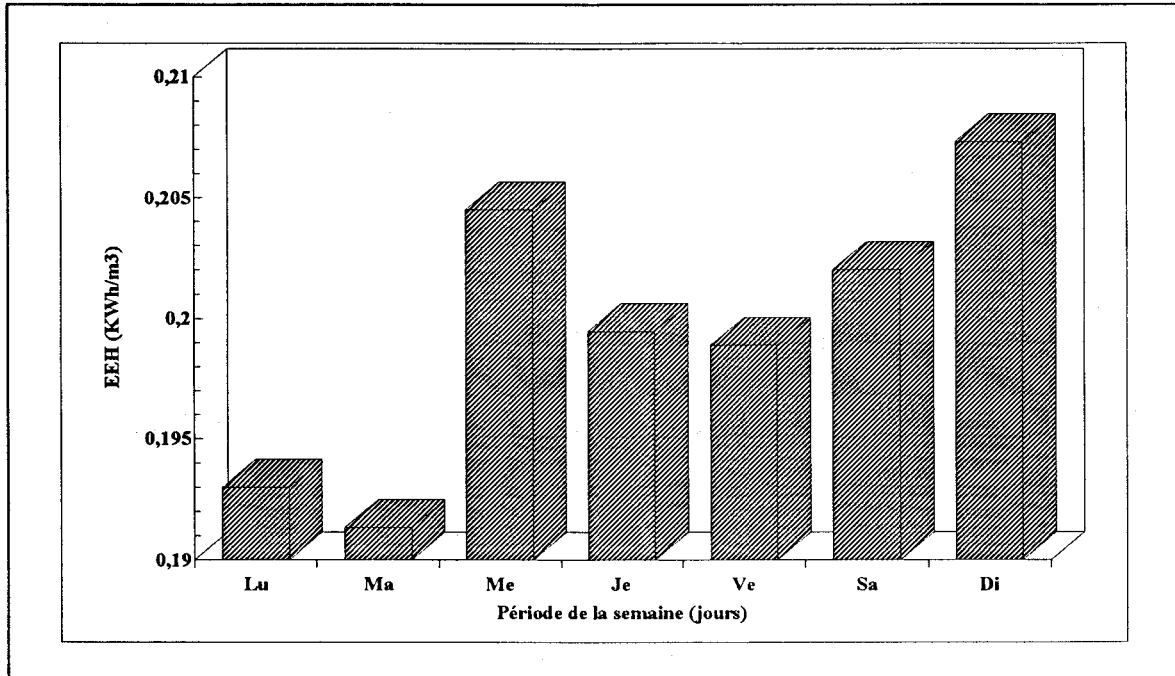


Figure 21. Fluctuation hebdomadaire de l'efficacité énergétique hydraulique à la station d'épuration de la CUM.

La Figure 22 témoigne de la différence existante entre la puissance électrique maximale appelée et le facteur de pointe de puissance pour chaque jour de la semaine à la station de la CUM. Somme toute, des fluctuations très mineures (< 3%) sont dénotées pour ces deux paramètres selon le cycle hebdomadaire.

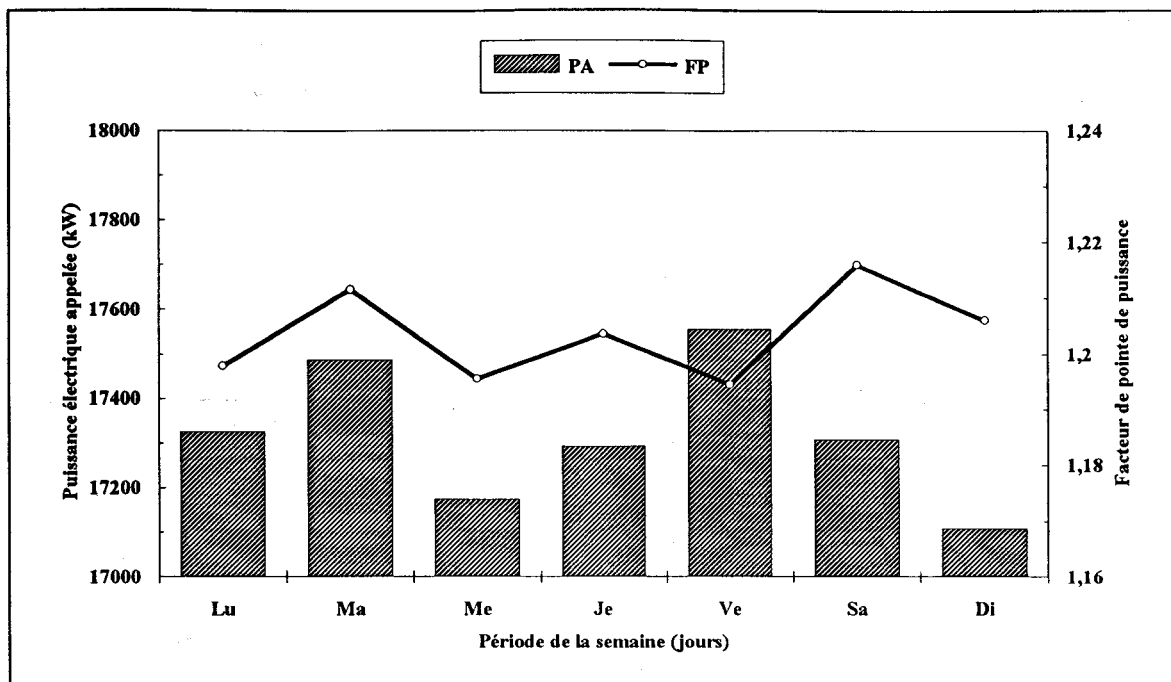


Figure 22. Variation hebdomadaire de la puissance appelée et du facteur de pointe de puissance à la station d'épuration de la CUM.

4.2.4 Profil mensuel ou saisonnier de la consommation électrique

Les modifications saisonnières du climat ainsi que des activités urbaines et rurales affectent considérablement les quantités d'eaux usées à traiter dans les stations d'épuration et ainsi, la consommation électrique requise pour l'opération des procédés. La Figure 23 illustre la variation du débit d'eaux usées à la station d'épuration de la CUM pour l'année 1993. On remarque une hausse importante de la charge hydraulique pour le mois d'avril (2 570 000 m³/d) qui correspond à la période de fonte des neiges. Les débits moyens pour les autres mois sont nettement plus faibles, variant entre 1 476 000 et 1 833 000 m³/d. Cette hausse significative du débit hydraulique a aussi été remarquée pour les deux autres stations examinées, soit la station de type boues activées de Pincourt et celle de type étangs aérés de Saint-Étienne-de-Lauzon (Figures 24 et 25).

On constate une hausse significative des besoins énergétiques pour le mois d'avril à la CUM. Cette hausse s'explique donc par l'augmentation de la charge hydraulique ce qui résulte en une forte consommation d'énergie pour le pompage des eaux usées. Par contre, pour les deux autres stations, le pompage étant une étape de moins grande importance (voir chapitre 7) du point de vue énergétique, aucune hausse notable de la consommation électrique n'est visualisée.

On note également une consommation électrique plus élevée pour les mois d'hiver en comparaison aux mois d'été pour les stations de la CUM et de Pincourt. Ce phénomène peut s'expliquer en bonne partie par la nécessité de chauffer les installations et par l'effet de la température froide sur l'efficacité des diverses étapes de traitement (pompage, dessablage, coagulation/floculation, décantation, oxydation biologique, etc.). En effet, la plupart des processus physiques, chimiques et biologiques impliqués dans le traitement des eaux usées sont altérés par la baisse de la température des eaux. Ainsi, dans bien des cas, une chute de température devra être compensée par une prolongation des temps de réaction, ceci entraînant une hausse de la consommation électrique. Dans les stations de type étangs aérés comme Saint-Étienne, la puissance d'aération des surpresseurs d'air est abaissée durant les périodes froides. Ainsi, pour ce type de station, la consommation électrique maximale se situe durant les mois d'été (juin à septembre).

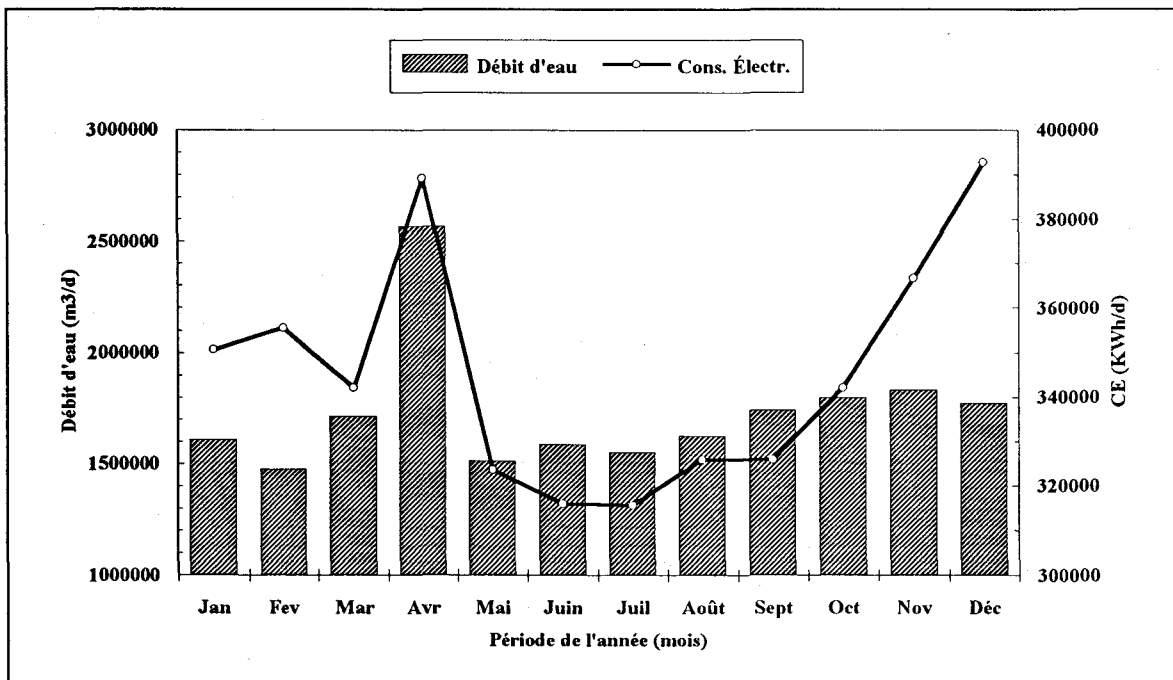


Figure 23. Variation mensuelle de la charge hydraulique et de la consommation électrique à la station d'épuration de la CUM.

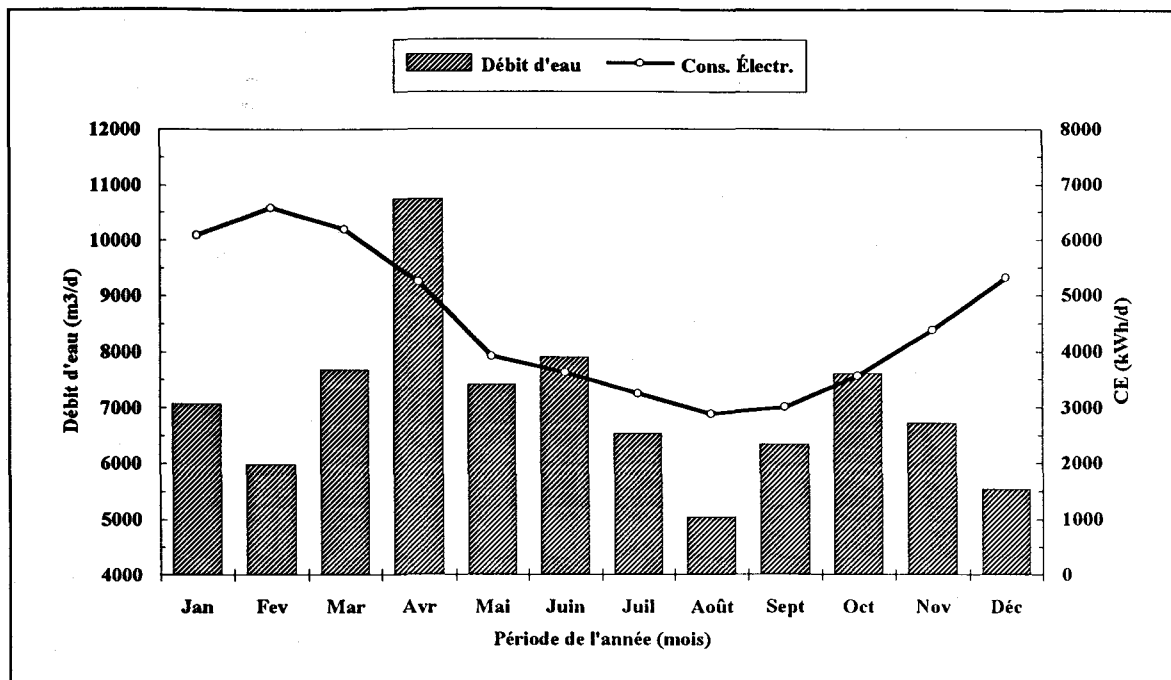


Figure 24. Variation mensuelle de la charge hydraulique et de la consommation électrique à la station d'épuration de Pincourt.

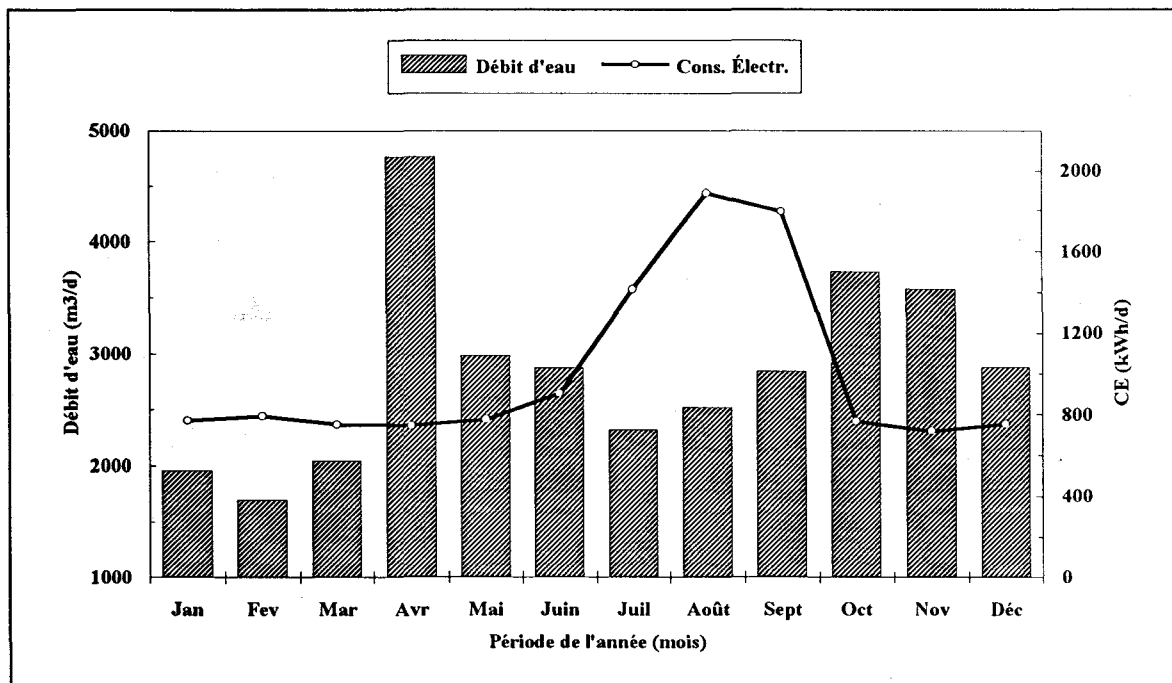


Figure 25. Variation mensuelle de la charge hydraulique et de la consommation électrique à la station d'épuration de Saint-Étienne.

La Figure 26 montre la fluctuation de l'efficacité énergétique hydraulique pour les divers mois de l'année 1993 aux stations d'épuration de la CUM, de Pincourt et de Saint-Étienne. À la CUM, ce paramètre varie entre 0.187 et 0.241 kWh/m³ pour l'ensemble des mois de l'année, à l'exception de la valeur de 0.152 kWh/m³ obtenue pour le mois d'avril. Cette basse valeur peut être expliquée par le fait que la faible charge organique transportée dans les eaux usées au cours du mois d'avril permet un traitement plus rapide. De plus, le détournement des eaux usées excédentaires dans l'émissaire de la station au cours de cette période peut contribuer à expliquer ce phénomène. Pour ce qui est de Pincourt, l'EEH a fluctué entre 0.459 et 1.101 kWh/m³ au cours de l'année, avec les valeurs maximales atteintes au cours de l'hiver (chauffage des bâtiments). Finalement, pour Saint-Étienne l'EEH a varié entre 0.156 et 0.749 kWh/m³ avec des maximums observés durant les mois d'été.

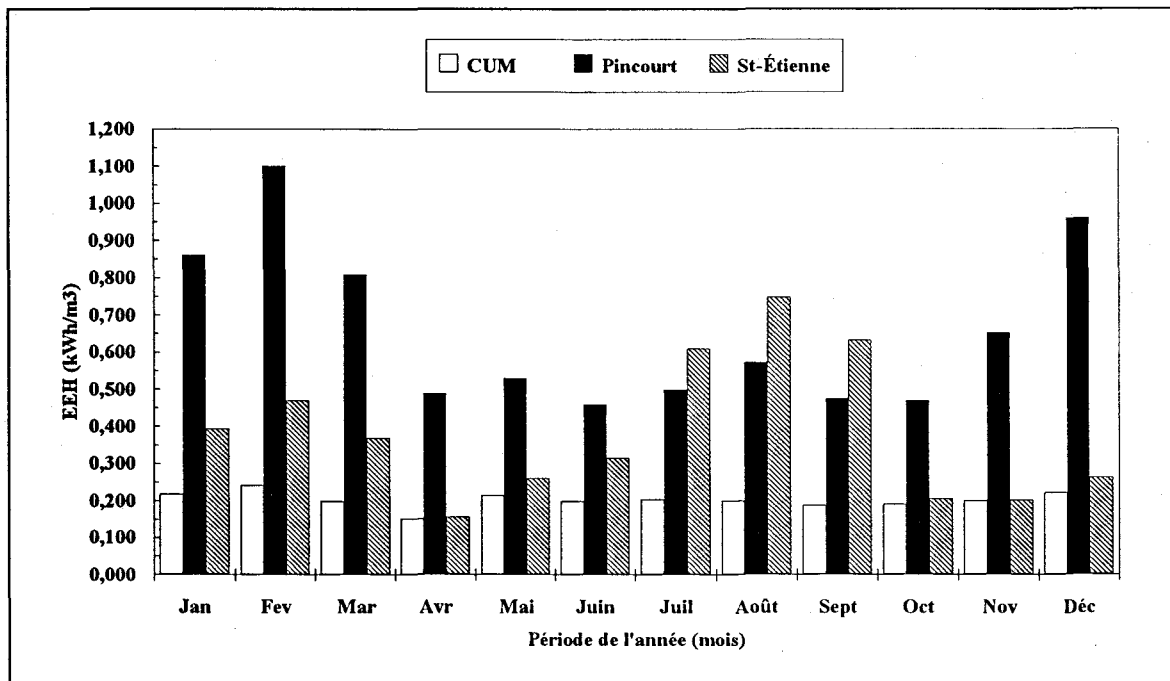


Figure 26. Fluctuation mensuelle de l'efficacité énergétique hydraulique aux stations d'épuration de la CUM, de Pincourt et de Saint-Étienne.

Les Figures 27 à 29 font état des profils de puissance électrique appelée (PA) et de facteur de pointe de puissance (FP) pour les mois de l'année 1993, dans les trois stations d'épuration étudiées. Pour la CUM, les valeurs maximales de PA sont notées pour les mois présentant les plus forts débits hydrauliques, soit avril (fonte des neiges), ainsi que novembre et décembre (raccordement partiel du réseau du versant sud). En ce qui a trait aux deux autres stations, les valeurs maximales de PA sont observées en été pour Saint-Étienne et en hiver pour Pincourt.

En ce qui concerne le facteur de pointe de puissance (FP), un phénomène important est noté pour le cas de Saint-Étienne, avec une hausse très marquée pour les mois de juin et d'octobre. Cette observation s'explique par l'augmentation de la puissance électrique des surpresseurs d'air au mois de juin et la diminution au mois d'octobre. Pour les deux autres stations, les variations de FP sont relativement négligeables.

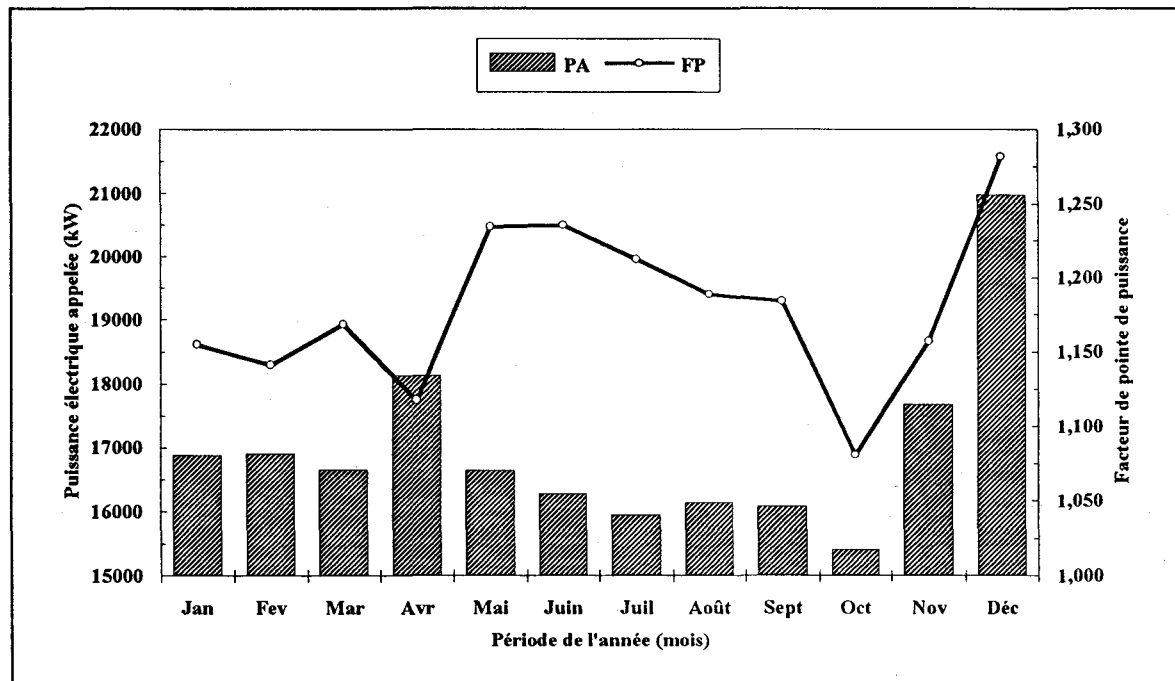


Figure 27. Variation mensuelle de la puissance appelée et du facteur de pointe de puissance à la station d'épuration de la CUM.

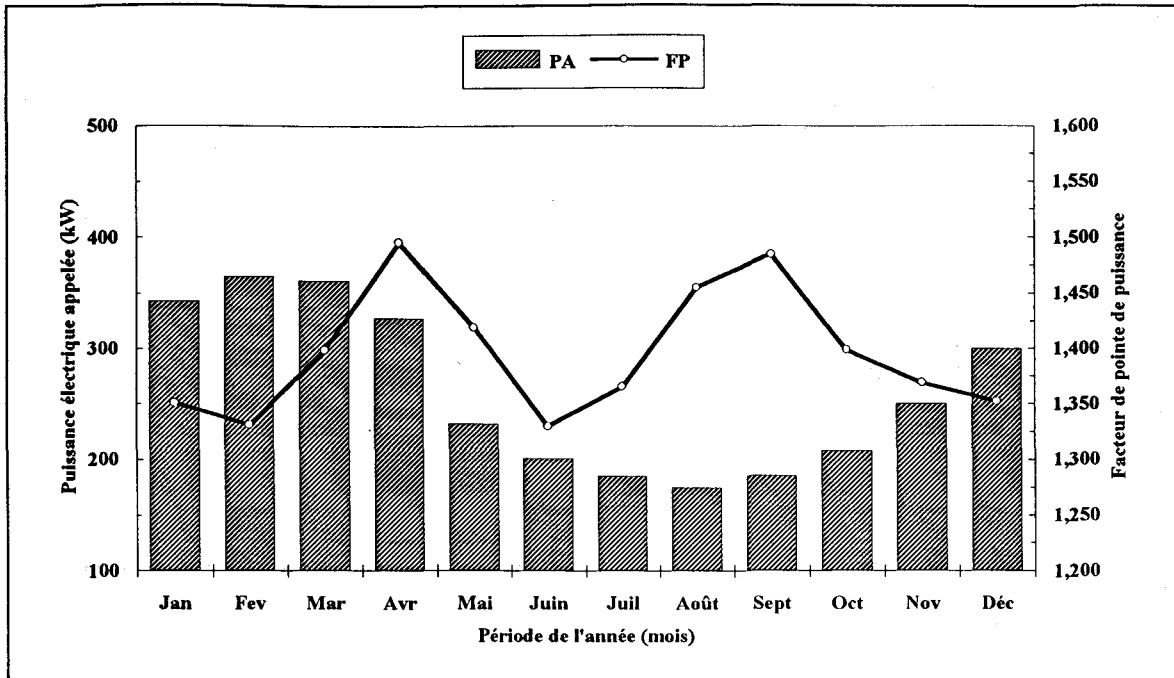


Figure 28. Variation mensuelle de la puissance appelée et du facteur de pointe de puissance à la station d'épuration de Pincourt.

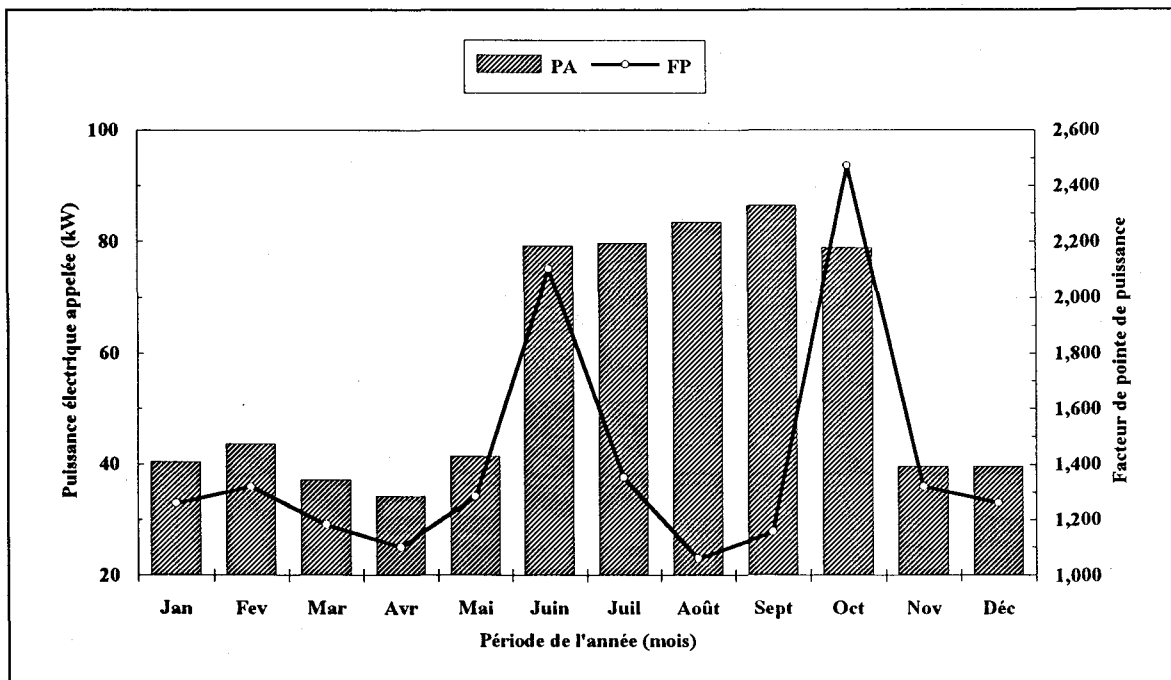


Figure 29. Variation mensuelle de la puissance appelée et du facteur de pointe de puissance à la station d'épuration de Saint-Étienne.

Les sections précédentes ont mis en perspective l'importance de la fluctuation temporelle de la consommation électrique dans les stations d'épuration et ce, sur les bases diurne, journalière, hebdomadaire, mensuelle et saisonnière. *Les variations significatives de charges hydraulique et organique sur ces diverses bases de temps mettent en évidence le besoin d'instaurer des systèmes de contrôle et de régulation des différents équipements électriques associés à l'assainissement des eaux usées. Ce type de contrôle permettrait de réduire les pertes énergétiques et de stabiliser la performance épuratoire des ouvrages d'assainissement des eaux usées.*

5. Efficacité énergétique épuratoire des ouvrages d'assainissement

Le chapitre précédent présente un bilan global de la consommation électrique associée au traitement des eaux usées municipales au Québec. Les pages qui suivent sont consacrées à l'analyse plus détaillée de la performance des stations d'épuration, selon le type de traitement des eaux usées utilisé.

5.1 Boues activées

Sur les 36 stations de type boues activées répertoriées par le MEF, un total de 31 unités ont été associées à des données de consommation électrique d'Hydro-Québec. Ces ouvrages d'assainissement desservent 660 920 habitants, soit 90.2 % de l'ensemble de la population reliée à des stations de type boues activées. Le débit hydraulique total de ces ouvrages est de 512 740 m³/d, ce qui correspond à 82.5 % de la charge hydraulique totale des systèmes de boues activées en fonction au Québec.

Le Tableau 23 présente quelques statistiques de base concernant les stations sélectionnées. Les données brutes de chacun des ouvrages d'assainissement par type de traitement sont exposées à l'Appendice C. Les calculs effectués démontrent une variation importante entre les valeurs de EEH pour les diverses stations d'épuration, soit entre 0.18 et 1.06 kWh/m³. *Une étude détaillée serait sans doute souhaitable afin de pouvoir cerner les causes responsables des fluctuations importantes de ce paramètre énergétique.* Il faut également se rappeler que l'efficacité énergétique hydraulique (EEH) par traitement peut aussi être déterminée à partir de la moyenne individuelle de chaque station. Dans ce cas, une valeur de 0.550 ± 0.283 kWh/m³ est obtenue pour les stations de type boues activées. On note ainsi une variation importante entre l'EEH des stations, avec une déviation standard autour de la moyenne de plus de 51 %.

Tableau 23. Bilan de la consommation électrique pour les stations d'épuration de type boues activées en fonction de la charge hydraulique

	Population desservie	Débit hydraulique (m ³ /d)	CE (kWh/d)	EEH (kWh/m ³)
Minimum	700	511	436	0.18
Maximum	230 000	136 275	29 453	1.06
Moyenne	21 320	16 540	5 462	0.33
Total	660 920	512 740	169 322	-

La Figure 30 présente l'énergie électrique consommée en fonction de la charge hydraulique traitée par les diverses stations d'épuration de type boues activées. Une bonne corrélation ($r^2 : 0.883$) est obtenue entre le débit hydraulique (DH) et la consommation électrique (CE). La relation linéaire entre ces deux paramètres peut s'exprimer de la façon suivante :

$$CE_{BA} = 0.231 \times DH_{BA} + 1\,642 \quad (3)$$

Le Tableau 24 présente un bilan de la performance énergétique épuratoire des systèmes de traitement des eaux par boues activées. Les calculs effectués démontrent, de manière semblable aux valeurs de EEH, une variation importante entre les valeurs d'efficacité énergétique épuratoire (EEE) pour les diverses stations d'épuration, soit entre 1.80 et 21.13 kWh/kg DBO₅ enlevé avec une moyenne globale pondérée de 6.79 kWh/kg DBO₅ enlevé. Il appert qu'une analyse détaillée serait requise afin de pouvoir cerner les causes des variations fort significatives de l'EEE et de l'EEH.

L'EEE moyenne par station peut aussi être déterminée à partir de la moyenne individuelle de chaque station. Dans ce cas, une valeur de 6.79 ± 4.69 kWh/kg DBO₅ enl. est obtenue pour les stations de type boues activées. On note aussi une variation importante de l'EEE par station, avec une déviation standard autour de la moyenne de plus de 69 %.

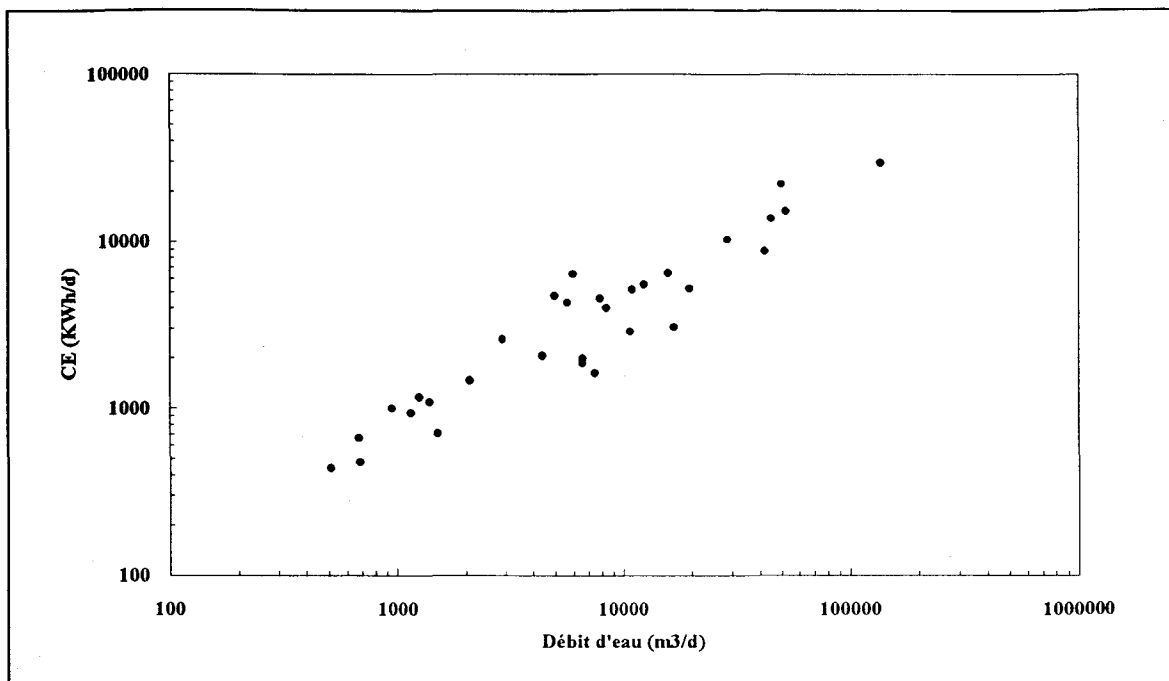


Figure 30. Profil de la consommation électrique des stations québécoises de type boues activées en fonction de la charge hydraulique.

Tableau 24. Bilan de la consommation électrique pour les stations d'épuration de type boues activées en fonction de la capacité épuratoire

	Charge DBO ₅ affluent (kg/d)	Charge DBO ₅ effluent (kg/d)	Charge DBO ₅ enlevé (kg/d)	EEE (kWh/kg DBO ₅ enl)
Minimum	53.0	4.0	47.0	1.80
Maximum	13 680	1 150	12 530	21.13
Moyenne	1 787	148	1 639	6.79
Total	48 250	3 995	44 255	-

La Figure 31 présente l'énergie électrique consommée en fonction de la capacité épuratoire des diverses stations d'épuration de type boues activées. Une bonne corrélation ($r^2 : 0.841$) est obtenue entre la capacité épuratoire (DBO) et la consommation électrique (CE). La relation linéaire entre ces deux paramètres peut s'exprimer par l'équation suivante :

$$CE_{BA} = 2.371 \times DBO_{BA} + 2\,081 \quad (4)$$

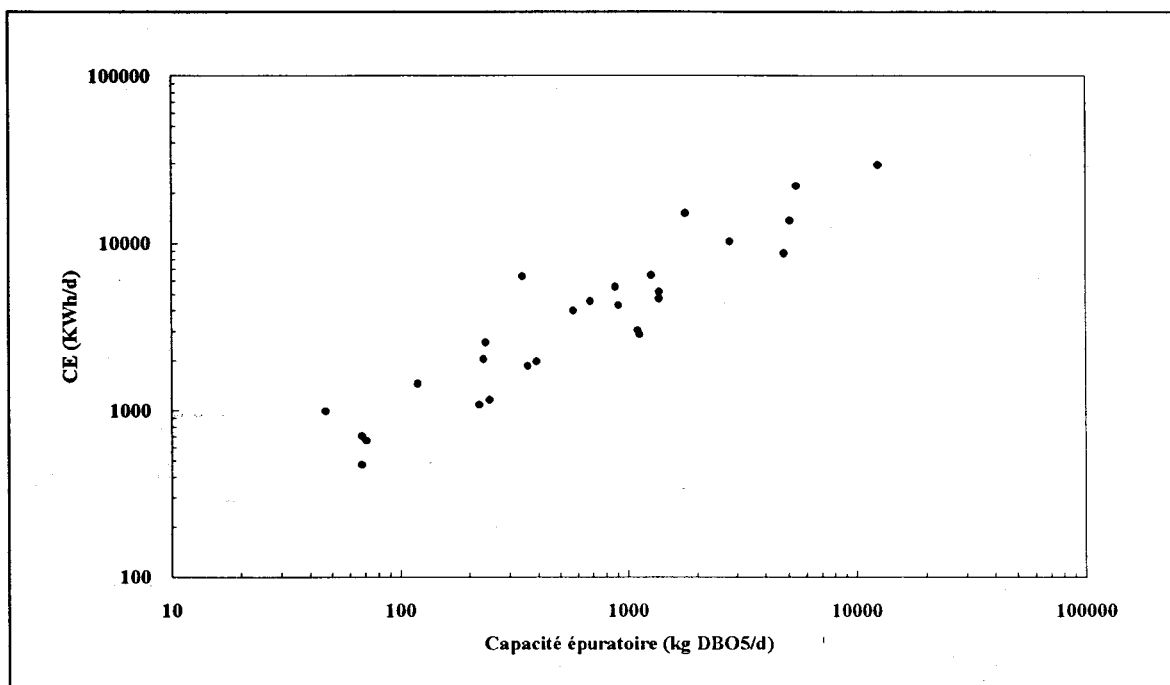


Figure 31. Profil de la consommation électrique des stations québécoises de type boues activées en fonction de la capacité épuratoire.

5.2 Biodisques

Cinq stations de type biodisques, sur une possibilité de 14, ont été utilisées pour cette analyse. Ces 5 ouvrages d'assainissement desservent seulement 4 710 habitants, soit 46.6 % de l'ensemble de la population reliée à des stations de ce type. Le débit hydraulique total de ces installations est de 3 510 m³/d, ce qui correspond à 51.6 % de la charge hydraulique totale des unités de biodisques. Le Tableau 25 présente quelques statistiques de base concernant les stations sélectionnées. Les calculs effectués montrent un écart significatif entre les valeurs de EEH pour les diverses stations d'épuration, soit entre 0.30 et 1.55 kWh/m³, et ce, en ne tenant pas compte de la station de Upton, pour laquelle une valeur de 0.01 kWh/m³ a été trouvée. Les données de consommation électrique recueillies par le système informatique d'Hydro-Québec pour cette petite unité de traitement sont sans doute incorrectes. En calculant l'EEH à partir des résultats mesurés pour chaque station, une valeur

de 0.800 ± 0.585 kWh/m³ est déterminée pour les stations de type biodisques. La déviation standard autour de la moyenne est très élevée, plus de 73 %, ce qui montre l'efficacité énergétique très variable de ces stations.

Tableau 25. Bilan de la consommation électrique pour les stations d'épuration de type biodisques en fonction de la charge hydraulique

	Population desservie	Débit hydraulique (m ³ /d)	CE (kWh/d)	EEH (kWh/m ³)
Minimum	425	300	277	0.30
Maximum	1 750	1 146	1 775	1.55
Moyenne	942	702	526	0.75
Total	4 710	3 510	2 630	-

La Figure 32 présente l'énergie électrique consommée en fonction de la charge hydraulique traitée par les diverses stations d'épuration de type biodisques. Avec seulement 5 stations, on doit s'attendre à une pauvre corrélation (r^2 : 0.447) entre le débit hydraulique (DH) et la consommation électrique (CE). La relation linéaire entre ces deux paramètres peut, avec toute réserve, s'exprimer par l'équation :

$$CE_{BD} = 1.385 \times DH_{BD} - 425 \quad (5)$$

Le Tableau 26 fait état de la performance énergétique épuratoire des systèmes de traitement par biodisques. Une différence notable entre les valeurs d'efficacité énergétique épuratoire (EEE) est constatée, soit entre 5.96 et 19.95 kWh/kg DBO₅ enlevé. En calculant l'EEE à partir des résultats mesurés pour chaque station, une valeur de 10.93 ± 6.54 kWh/kg DBO₅ enlevé est déterminée pour les stations de type biodisques. La déviation standard autour de la moyenne est importante, près de 60 %, ce qui signifie que l'efficacité énergétique épuratoire des stations est très variable d'une station à l'autre.

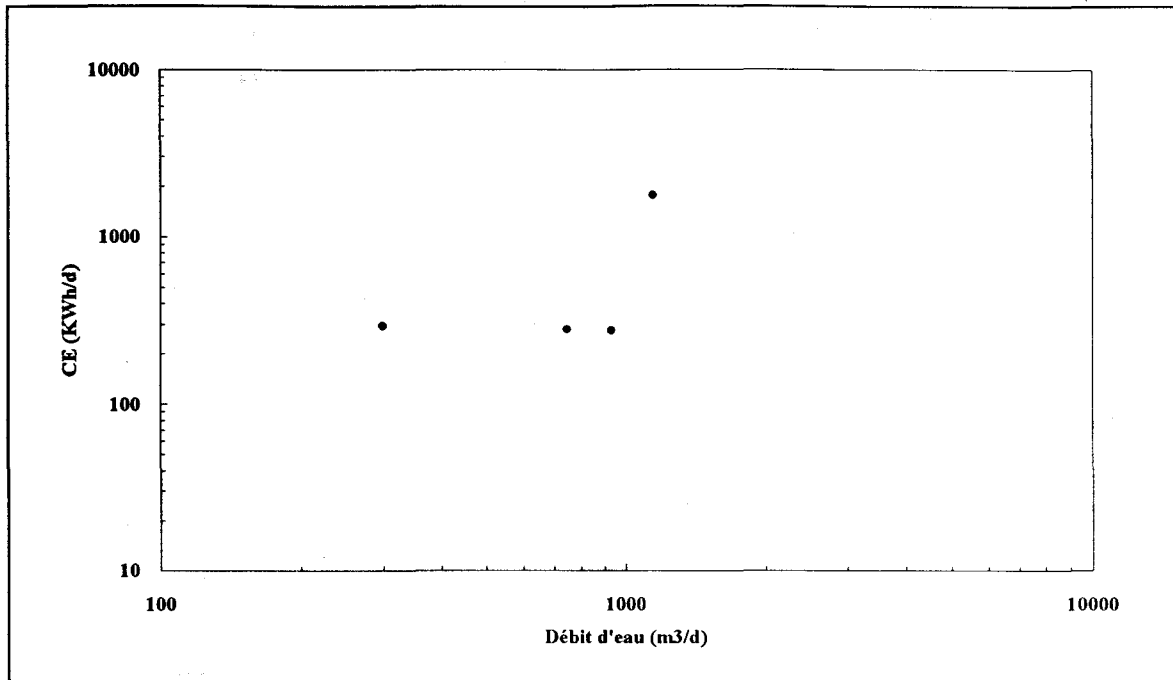


Figure 32. Profil de la consommation électrique des stations québécoises de type biodisques en fonction de la charge hydraulique.

Tableau 26. Bilan de la consommation électrique pour les stations d'épuration de type biodisques en fonction de la capacité épuratoire

	Charge DBO ₅ affluent (kg/d)	Charge DBO ₅ effluent (kg/d)	Charge DBO ₅ enlevé (kg/d)	EEE (kWh/kg DBO ₅ enl)
Minimum	39.0	2.0	24.0	5.96
Maximum	96.0	15.0	89.0	19.95
Moyenne	60.3	8.5	51.8	10.93
Total	241	34	207	-

La Figure 33 présente l'énergie électrique consommée en fonction de la capacité épuratoire des diverses stations d'épuration de type biodisques. Une corrélation acceptable ($r^2 : 0.844$) est obtenue entre la capacité épuratoire (DBO) et la consommation électrique (CE). L'équation mathématique suivante sert à exprimer la relation entre ces deux facteurs :

$$CE_{BD} = 25.289 \times DBO_{BD} - 652 \quad (6)$$

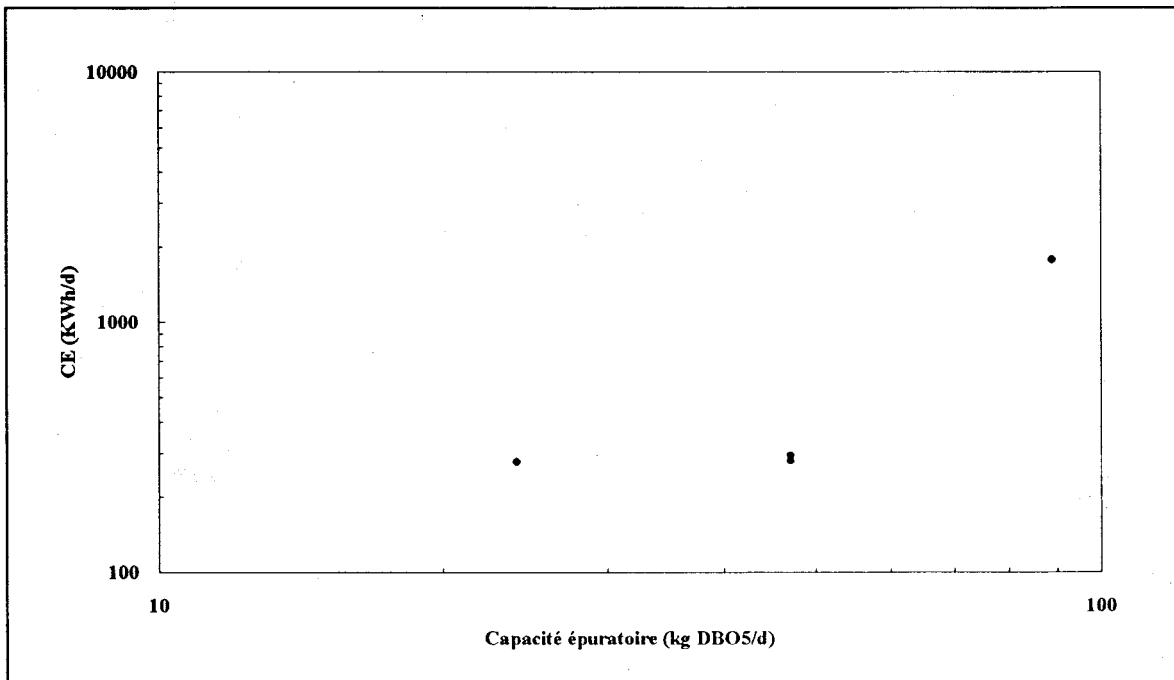


Figure 33. Profil de la consommation électrique des stations québécoises de type biodisques en fonction de la capacité épuratoire.

5.3 Biofiltration

Cinq stations de type biofiltration, sur un total de 14, ont été utilisées pour ces calculs. Ces stations desservent 567 100 personnes, soit 70.8 % de l'ensemble de la population reliée à des stations de ce type. La charge hydraulique totale de ces ouvrages est de 429 530 m³/d, ce qui correspond à 66.4 % du débit hydraulique total des systèmes de biofiltres. Le Tableau 27 présente quelques statistiques de base concernant les stations sélectionnées. L'écart entre les valeurs de EEH est moindre que pour les deux systèmes précédents, soit entre 0.23 et 0.53 kWh/m³. Pour la Communauté Urbaine de Québec, des valeurs de 0.23 et 0.25 kWh/m³ ont été déterminées respectivement pour la CUQ-Est et la CUQ-Ouest. En déterminant l'EEH à partir des résultats mesurés pour chacune des stations, une valeur moyenne de 0.338 ± 0.124 kWh/m³ est déterminée pour les stations de type biofiltration. Dans ce cas, la déviation standard autour de la moyenne est nettement moins

élevée que pour les stations de types boues activées, biodisques et étangs aérés, avec un écart de seulement 37 %.

Tableau 27. Bilan de la consommation électrique pour les stations d'épuration de type biofiltration en fonction de la charge hydraulique

	Population desservie	Débit hydraulique (m ³ /d)	CE (kWh/d)	EEH (kWh/m ³)
Minimum	7 700	5 675	3 032	0.23
Maximum	270 000	231 000	52 093	0.53
Moyenne	113 420	85 906	21 300	0.25
Total	567 100	429 530	106 500	-

La Figure 34 présente l'énergie électrique consommée en fonction de la charge hydraulique traitée par les diverses stations d'épuration de type biofiltration. Comme pour les usines d'épuration de type boues activées, celles de type biofiltration présentent une excellente corrélation (r^2 : 0.996) entre le débit hydraulique (DH) et la consommation électrique (CE). La relation linéaire entre ces deux paramètres peut s'exprimer par l'équation :

$$CE_{BF} = 0.224 \times DH_{BF} + 2\,100 \quad (7)$$

La performance énergétique épuratoire des systèmes de traitement par biofiltration est exposée au Tableau 28. Une différence assez restreinte entre les valeurs d'efficacité énergétique épuratoire (EEE) est constatée, soit entre 2.09 et 3.41 kWh/kg DBO₅ enlevé. Une valeur moyenne de 2.90 ± 0.63 kWh/kg DBO₅ enlevé est calculée pour les stations de biofiltration. La déviation standard est moins importante que pour les stations de types boues activées, biodisques et étangs aérés, avec un écart de près de 22 %.

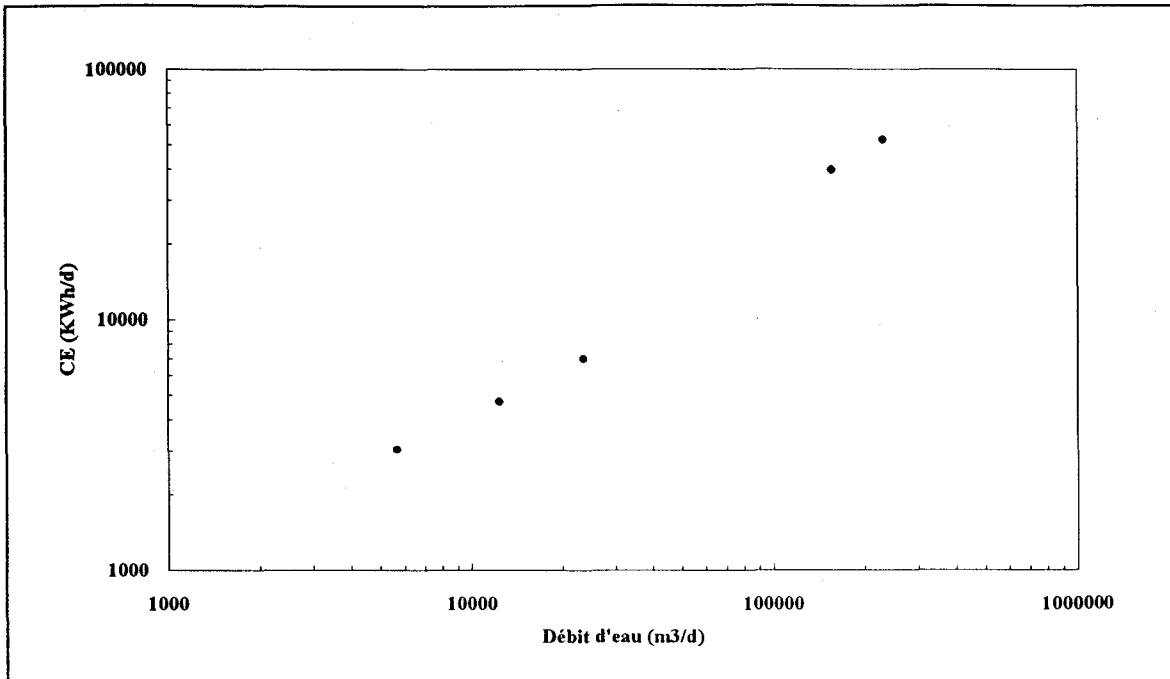


Figure 34. Profil de la consommation électrique des stations québécoises de type biofiltration en fonction de la charge hydraulique.

Tableau 28. Bilan de la consommation électrique pour les stations d'épuration de type biofiltration en fonction de la capacité épuratoire

	Charge DBO ₅ affluent (kg/d)	Charge DBO ₅ effluent (kg/d)	Charge DBO ₅ enlevé (kg/d)	EEE (kWh/kg DBO ₅ enl)
Minimum	1 519	130	1 389	2.09
Maximum	29 711	4 840	24 871	3.41
Moyenne	12 563	2 440	10 124	2.90
Total	50 251	9 758	40 493	-

La Figure 35 présente l'énergie électrique consommée en fonction de la capacité épuratoire des diverses stations d'épuration de type biofiltration. Malgré le peu de données, une bonne corrélation ($r^2 : 0.909$) est observée entre la charge organique (DBO) et la consommation électrique (CE). La relation mathématique entre ces deux paramètres peut, sous toute réserve, s'exprimer par l'équation :

$$CE_{BF} = 2.082 \times DBO_{BF} + 4\,786 \quad (8)$$

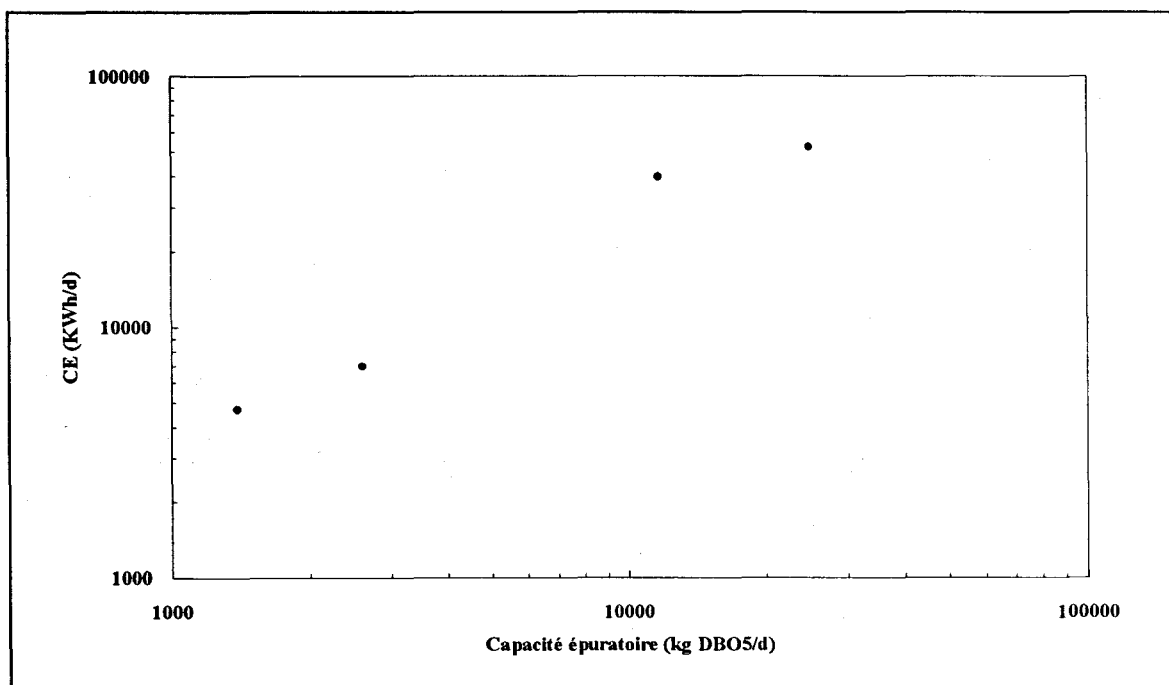


Figure 35. Profil de la consommation électrique des stations québécoises de type biofiltration en fonction de la capacité épuratoire.

5.4 Étangs aérés

En ce qui concerne les stations de type étangs aérés, une somme de 150 unités a été utilisée sur une possibilité de 179. Ces systèmes de traitement desservent 497 550 habitants, soit 78.5 % de l'ensemble de la population reliée à des stations de ce type. Le débit hydraulique total de ces ouvrages est de 402 000 m³/d, ce qui équivaut à 76.6 % de la charge hydraulique totale des étangs aérés. Le Tableau 29 présente quelques statistiques de base concernant les stations sélectionnées. Une fois de plus, les calculs effectués montrent un écart significatif entre les valeurs de EEH pour les différents étangs aérés, soit entre 0.16 et 1.77 kWh/m³, et ce, en ne tenant pas compte des stations de Notre-Dame-de-l'île-Perrot et de Alma-1, pour lesquelles des valeurs de 0.01 et 0.02 kWh/m³ ont été mesurées. Les données de consommation électrique de ces deux petites stations sont de toute évidence incorrectes. En

calculant l'EEH à partir des résultats mesurés pour chaque station, une valeur de 0.515 ± 0.280 kWh/m³ est déterminée pour les stations de type étangs aérés. La déviation standard autour de la moyenne est élevée dans ce cas, soit de plus de 54 %, ce qui montre une efficacité énergétique variable entre les nombreuses unités d'épuration par étangs aérés.

Tableau 29. Bilan de la consommation électrique pour les stations d'épuration de type étangs aérés en fonction de la charge hydraulique

	Population desservie	Débit hydraulique (m ³ /d)	CE (kWh/d)	EEH (kWh/m ³)
Minimum	80	145	121	0.16
Maximum	30 200	33 981	5 511	1.77
Moyenne	3 317	2 680	956	0.36
Total	497 550	402 000	143 400	-

La Figure 36 présente l'énergie électrique consommée en fonction de la charge hydraulique traitée par les diverses stations d'épuration de type étangs aérés. De manière similaire aux stations d'épuration de type disques biologiques, celles de type étangs aérés montrent une pauvre corrélation (r^2 : 0.549) entre le débit hydraulique (DH) et la consommation électrique (CE). La relation entre ces deux paramètres peut cependant être représentée de la manière suivante :

$$CE_{EA} = 0.196 \times DH_{EA} + 431 \quad (9)$$

Le Tableau 30 présente un bilan de la performance énergétique épuratoire des systèmes de traitement des eaux par étangs aérés. Une différence appréciable entre les valeurs de EEE est dénotée, soit entre 2.32 et 29.26 kWh/kg DBO₅ enlevé. La valeur moyenne des stations est de 8.37 ± 5.38 kWh/kg DBO₅ enl. pour les stations d'étangs aérés. Encore une fois, on constate une variation très élevée entre les valeurs de EEE des stations, avec une déviation standard autour de la moyenne de plus de 64 %.

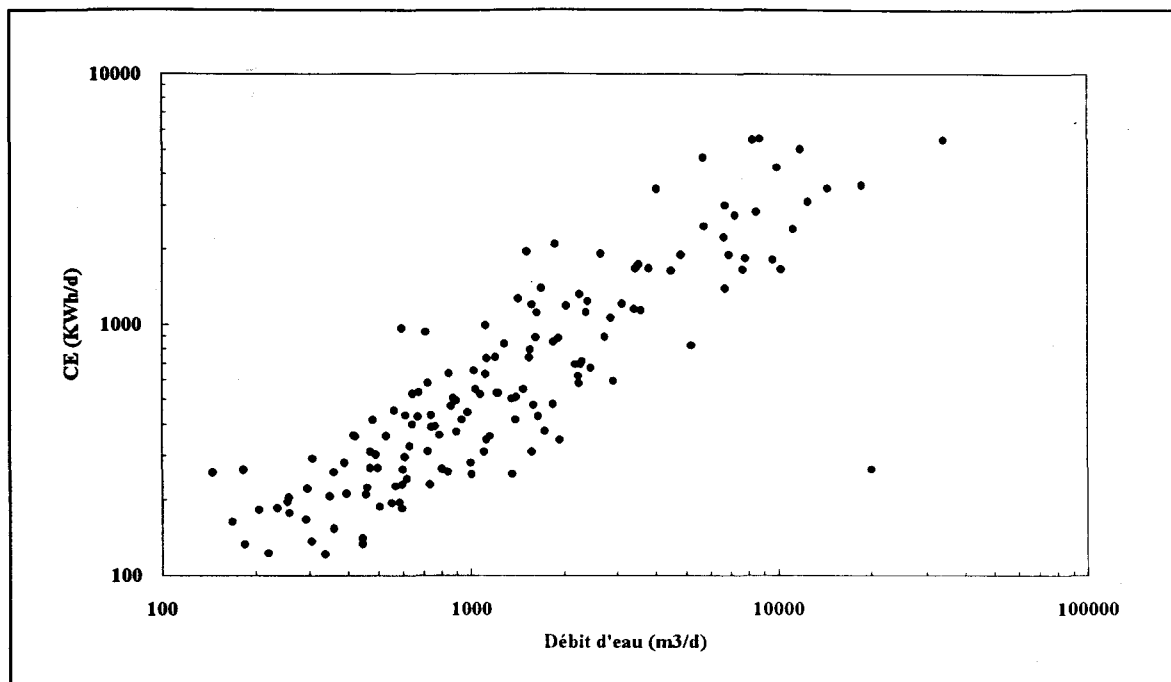


Figure 36. Profil de la consommation électrique des stations québécoises de type étangs aérés en fonction de la charge hydraulique.

Tableau 30. Bilan de la consommation électrique pour les stations d'épuration de type étangs aérés en fonction de la capacité épuratoire

	Charge DBO ₅ affluent (kg/d)	Charge DBO ₅ effluent (kg/d)	Charge DBO ₅ enlevé (kg/d)	EEE (kWh/kg DBO ₅ enl)
Minimum	10.0	1.0	9.0	2.32
Maximum	2 577	362	2 215	29.26
Moyenne	230	29.3	201	8.37
Total	31 066	3 959	27 107	-

La Figure 37 présente l'énergie électrique consommée en fonction de la capacité épuratoire des diverses stations d'épuration de type étangs aérés. Une meilleure corrélation ($r^2 : 0.807$) est observée entre la charge organique (DBO) et la consommation électrique (CE), que ce qui a été mesurée entre le débit hydraulique et la consommation électrique ($r^2 : 0.549$). La relation

mathématique entre la capacité épuratoire et la consommation d'électricité peut être représentée par l'équation suivante :

$$CE_{EA} = 3.025 \times DBO_{EA} + 386 \quad (10)$$

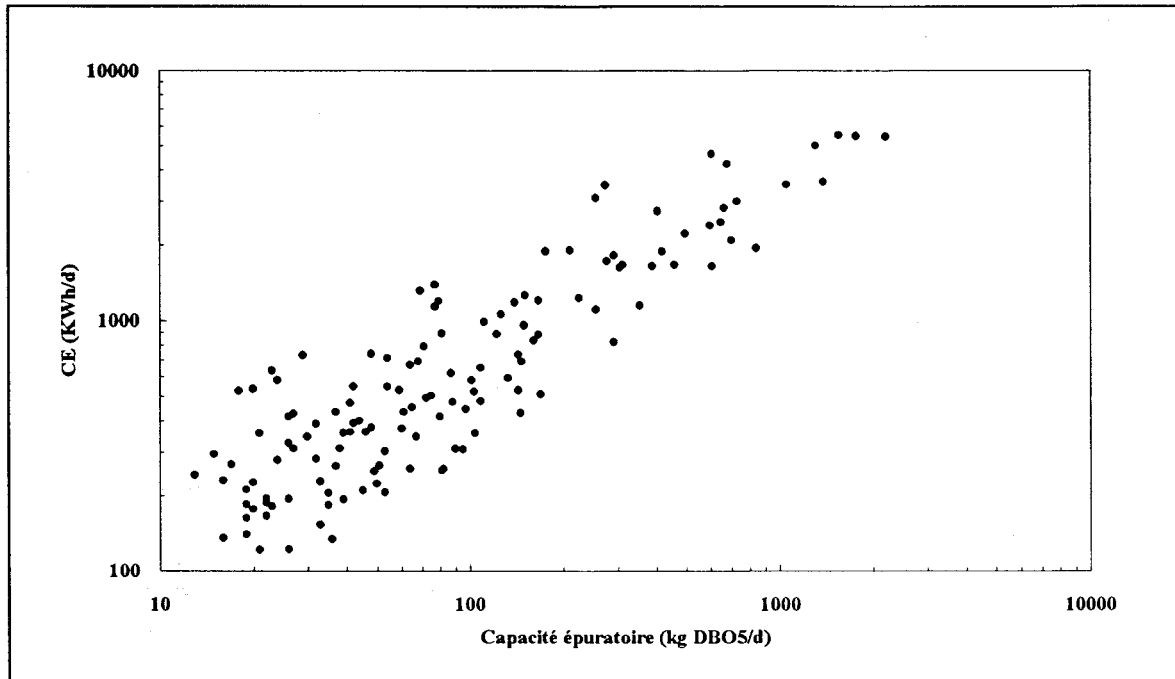


Figure 37. Profil de la consommation électrique des stations québécoises de type étangs aérés en fonction de la capacité épuratoire.

5.5 Procédés physico-chimiques

Les deux stations d'épuration de type physico-chimiques (CUM et Laval secteur Fabreville) ont été retenues pour cette analyse. Ces stations desservent un total de 1 235 000 personnes, pour un débit de 1 727 300 m³/d. Le Tableau 31 présente les statistiques de base concernant ces deux ouvrages d'assainissement. Pour ces deux infrastructures, les valeurs de EEH sont presque similaires à 0.20 et 0.27 kWh/m³ respectivement, pour les stations de Montréal et Laval. La moyenne de EEH des deux stations pris individuellement est de 0.234 ± 0.044 kWh/m³, ce qui témoigne que les deux stations physico-chimiques ont une performance énergétique presque semblable malgré une différence très marquée entre leur capacité de traitement (1 706 000 et 21 300 m³/d respectivement). Si l'on considère le débit total d'eaux usées des deux stations et la consommation électrique totale, la moyenne de EEH est de 0.20 kWh/m³, soit la valeur calculée pour la station de la CUM (Tableau 31).

Tableau 31. Bilan de la consommation électrique pour les stations d'épuration de type physico-chimique en fonction de la charge hydraulique

	Population desservie	Débit hydraulique (m ³ /d)	CE (kWh/d)	EEH (kWh/m ³)
Minimum	35 000	21 300	5 647	0.20
Maximum	1 200 000	1 706 000	345 592	0.27
Moyenne	617 500	863 650	175 619	0.20
Total	1 235 000	1 727 300	351 238	-

Pour les deux stations de type physico-chimique, les valeurs de EEE sont relativement rapprochées avec 4.99 et 6.72 kWh/kg DBO₅ enlevé. La moyenne de EEE de ces deux stations pris individuellement est donc de 5.85 ± 1.23 kWh/kg DBO₅ enlevé, ce qui montre que les deux stations performant de façon presque similaire du point de vue de l'efficacité énergétique épuratoire (déviations standard autour de la moyenne de seulement 21 %).

Tableau 32. Bilan de la consommation électrique pour les stations d'épuration de type physico-chimique en fonction de la capacité épuratoire

	Charge DBO ₅ affluent (kg/d)	Charge DBO ₅ effluent (kg/d)	Charge DBO ₅ enlevé (kg/d)	EEE (kWh/kg DBO ₅ enl)
Minimum	1 493	653	840	4.99
Maximum	132 454	63 144	69 310	6.72
Moyenne	66 974	31 899	35 075	5.85
Total	133 947	63 797	70 150	-

6. Configuration des procédés et des équipements électriques

Les chapitres précédents ont permis de mettre en relief l'efficacité des divers systèmes de traitement des eaux usées en opération au Québec. Les pages suivantes sont consacrées à l'analyse de la consommation électrique inhérente aux différentes étapes de traitement incluses dans les diverses chaînes de traitement des eaux usées et des boues d'épuration.

6.1 Prétraitement

Les *étapes de prétraitement* les plus couramment employés dans les ouvrages d'assainissement des eaux usées sont, après 1) le pompage des affluents, 2) le dégrillage, 3) le dessablage aéré ou non-aéré et 4) la comminution (broyage des résidus de dégrillage). Généralement, ces diverses étapes ne sont responsables que d'une faible portion de la consommation électrique totale des systèmes de traitement des eaux.

6.1.1 Pompage des eaux usées

L'énergie électrique consommée pour l'acheminement des eaux usées aux infrastructures d'épuration dépend de la structure et de la situation géographique du réseau d'égout et des installations constituant la station d'épuration. De manière générale, une consommation variant entre 0.031 et 0.045 kWh/m³ a été établie par Burton Environmental Engineering *et al.* (1993); la quantité d'énergie étant inversement proportionnelle à la capacité hydraulique de traitement. Dépendamment de la taille de la station et des systèmes d'épuration employés, cet apport énergétique peut représenter entre 5 et 18 % de la demande électrique totale. Cette étude préparée pour l'EPRI est basée sur une enquête effectuée auprès d'un grand nombre de stations d'épuration américaines. Les consommations électriques moyennes ont été calculées pour des stations traitant de 3 786 à 378 600 m³/d, soit l'équivalent de 1 à 100 millions de gallons U.S./d. Une autre recherche menée par Middlebrooks *et al.* (1981) démontre que, pour des stations d'épuration de faible capacité (189 à 18 925 m³/d), le pompage des eaux usées entraîne une dépense énergétique se situant entre 0.013 à 0.017 kWh/m³, soit approximativement entre 3.1 à 5.1 % de la demande totale pour des stations de type boues activées, entre 6.6 et 9.6 % pour des stations de type biofiltration et entre 6.7 et 9.0 % pour des stations de type biodisques.

Dans son livre sur l'énergie dans le traitement des eaux usées, Owen (1982) présente une analyse de la consommation électrique dans les stations d'épuration américaines. Cette étude est basée sur les stations existantes et sur celles qui seront mises en opération d'ici la fin du siècle. Elle trace un profil de la dépense électrique associée aux diverses étapes de traitement des eaux usées

et des boues d'épuration municipales (Appendice D). Ainsi, en ce qui concerne le pompage des eaux usées domestiques aux États-Unis, une consommation totale de 4 496 MWh/d est estimée pour un débit hydraulique de 88.15 Mm³/d (10 420 unités). Tenant compte de ces données, la dépense énergétique reliée à cette étape du traitement peut être évaluée à 0.051 kWh/m³. Dans certains cas particuliers, comme la station de la CUM, le pompage des eaux résiduaires peut constituer une part plus importante de la dépense énergétique. Ce cas sera d'ailleurs traité dans le prochain chapitre.

6.1.2 Dégrillage

La consommation d'énergie associée à l'étape de dégrillage est imputable principalement à la phase de nettoyage des grilles, ce qui nécessite le déplacement mécanisé de celles-ci. Il faut toutefois remarquer que cette étape est négligeable du point de vue énergétique, puisque celle-ci requiert entre 0.0001 et 0.0005 kWh/m³ (Burton Environmental Engineering *et al.*, 1993), ce qui équivaut entre 0.01 et 0.09 % de la demande totale pour des stations de moyenne et forte capacité. Selon l'étude menée par Middlebrooks *et al.* (1981), cette étape de traitement représente une dépense électrique se situant entre 0.0002 et 0.0067 kWh/m³, avec une relation inversement proportionnelle au débit hydraulique (0.0067 kWh/m³ à 189 m³/d et 0.0002 kWh/m³ à 18 925 m³/d). Pour une station conventionnelle de boues activées cet apport énergétique représente entre 0.09 et 1.2 % de la consommation électrique totale pour les petites stations. Selon Owen (1982), en l'an 2000, une consommation totale de 56 MWh/d sera dévolue au dégrillage dans les stations américaines pour un débit hydraulique de 106 Mm³/d (14 419 unités). Tenant compte de ces valeurs, la dépense énergétique reliée à cette étape peut être estimée à 0.00053 kWh/m³. Finalement, les données recueillies par Wesner *et al.* (1978) dans le document "Energy Conservation in Municipal Wastewater Treatment" montrent que cette étape de prétraitement requiert entre 0.00456 et 0.00003 kWh/m³ pour des stations ayant un débit hydraulique se situant entre 379 et 378 600 m³/d.

6.1.3 Dessablage

Plusieurs techniques de dessablage sont utilisées dans les stations d'épuration. Les variantes de type aéré entraînent une dépense électrique se situant entre 0.0032 et 0.0129 kWh/m³, ce qui constitue approximativement entre 0.8 et 2.7 % de la consommation globale des stations de moyenne et de forte capacités de traitement (Burton Environmental Engineering *et al.*, 1993). Selon Middlebrooks *et al.* (1981), le dessablage de type aéré exige entre 0.0033 et 0.1538 kWh/m³ pour des stations de faible capacité (0.1538 kWh/m³ à 189 m³/d et 0.0033 kWh/m³ à 18 925 m³/d). Pour les stations de type boues activées conventionnelles de faible capacité, cette étape de traitement peut constituer entre 1.3 et 27.6 % de la consommation électrique. Le dessablage aéré consomme d'après Wesner *et al.* (1978) entre 0.0796 et 0.0020 kWh/m³ pour des stations se situant entre 379 et 37 860 m³/d. En ce qui concerne

maintenant les traitements non-aérés, une consommation variant entre 0.0001 kWh/m³ (18 925 m³/d) et 0.0038 kWh/m³ (189 m³/d) est proposée par ces mêmes auteurs, ce qui peut être équivalent à 0.1 à 1.4 % de la consommation globale d'une usine de type biofiltration. Aux États-Unis, plus de 279 MWh/d est utilisée pour le dessablage des eaux usées, et ce, pour un débit hydraulique de 89.7 Mm³/d (7 140 unités). À partir de ces valeurs, il peut être estimé que la dépense énergétique reliée au dessablage est de 0.003 kWh/m³ (Owen, 1982).

6.1.4 Comminution

La comminution consiste au broyage des résidus de dégrillage. Cette étape du procédé entraîne une dépense énergétique se situant entre 0.0013 et 0.0246 kWh/m³ (0.0246 kWh/m³ à 189 m³/d et 0.0013 kWh/m³ à 18 925 m³/d). Cette pratique peu employée au Québec, peut donc représenter environ 0.5 à 4.4 % de la consommation électrique des ouvrages d'assainissement (Middlebrooks *et al.*, 1981). Les données de Wesner *et al.* (1978) démontrent que la comminution nécessiterait entre 0.0159 et 0.0003 kWh/m³ pour des stations de capacité variant entre 379 et 378 600 m³/d. Les travaux de Owen (1982) suggèrent que la dépense électrique pour la comminution serait en moyenne de 0.0023 kWh/m³ selon le parc de stations d'épuration américaines, soit l'équivalent d'une consommation électrique de 99 MWh/d, pour un débit hydraulique de 43.38 Mm³/d (5 791 unités).

6.2 Traitement primaire

Le traitement primaire consiste dans la grande majorité des cas en une étape de séparation simple dans des décanteurs circulaires munis de racleurs mécanisés. Selon Burton Environmental Engineering *et al.* (1993), cette étape de décantation primaire nécessite environ 0.004 kWh/m³, ce qui est évidemment une faible portion de la consommation globale, soit entre 0.5 et 2.3 % pour des usines de moyenne et forte capacités. Middlebrooks *et al.* (1981) estiment entre 0.002 kWh/m³ (18 925 m³/d) et 0.037 kWh/m³ (189 m³/d) la consommation électrique pour la décantation primaire dans les petites stations d'épuration, soit entre 0.7 et 6.6 % de la demande totale.

D'après Wesner *et al.* (1978) la dépense énergétique pour la sédimentation primaire (décanteur circulaire) serait entre 0.0311 et 0.0007 kWh/m³ pour des stations traitant entre 379 et 378 600 m³/d. Selon Owen (1982), une consommation totale de 246 MWh/d est associée à la décantation primaire dans les stations américaines, pour un débit hydraulique de 97.50 Mm³/d (9 360 unités). Tenant compte de ces valeurs, la dépense énergétique reliée à cette étape peut être estimée à 0.0025 kWh/m³.

6.3 Traitement secondaire

Les divers systèmes de traitement secondaire des eaux usées sont responsables d'une proportion importante de la quantité d'énergie électrique dévolue à l'assainissement des effluents domestiques. Toutefois, la quantité d'électricité requise peut être très variable selon les différents types de traitement.

6.3.1 Boues activées

Compte-tenu de la diversité des variantes existantes de systèmes de boues activées, il n'est pas aisé d'établir un profil global de consommation électrique de cette technologie. Les travaux de Burton Environmental Engineering *et al.* (1993) ont toutefois permis de définir des gammes de consommation électrique pour les étapes suivantes : l'aération des bassins pour les procédés conventionnels; l'aération supplémentaire associée à l'ajout d'une étape de nitrification biologique; l'étape de décantation secondaire, ainsi que le pompage du système de recirculation des boues.

Aération des bassins d'oxydation

Une consommation électrique moyenne de 0.140 kWh/m³ a été calculée d'après une enquête effectuée sur plusieurs unités de boues activées américaines. Selon la capacité de traitement, cette consommation peut représenter entre 18.0 et 51.7 % de l'énergie électrique d'une station d'épuration. Il faut remarquer que cette part de la demande électrique est directement proportionnelle à la capacité de traitement de la station. Par exemple, pour une usine comprenant un système conventionnel de boues activées avec digestion et déshydratation des boues, la fraction énergétique associée à l'aération varie de 23.8 % pour une station traitant 3 786 m³/d à 51.7 % pour une station avec une capacité de 378 600 m³/d.

Pour les petites stations, Middlebrooks *et al.* (1981) ont déterminé une consommation moyenne de 0.120 kWh/m³, ce qui équivaut à une fraction de la demande globale se situant entre 20.8 % (189 m³/d) et 47.0 % (18 925 m³/d). Les travaux de Andersson menés au Danemark montrent que l'aération des systèmes de boues activées est responsable de 62 à 88 % de la consommation d'électricité dans les stations d'épuration. Il faut remarquer que dans ce cas, aucun traitement des boues n'était effectué. Wesner *et al.* (1978) caractérise la demande d'électricité pour trois systèmes de boues activées, soit les diffuseurs d'air à grosses bulles (0.217 kWh/m³), les diffuseurs d'air à fines bulles (0.174 kWh/m³) et les aérateurs mécaniques (0.112 kWh/m³).

Les travaux de Owen (1982) suggèrent que les procédés conventionnels de boues activées utilisés aux États-Unis consomment 0.182 kWh/m³, soit l'équivalent d'une consommation électrique de 18 604 MWh/d pour un débit

hydraulique de 102.24 Mm³/d (7 372 unités). Il faut prendre note que cette consommation comprend les étapes de décantation secondaire et de pompage pour la recirculation des boues. Les variantes de boues activées à rendement élevé et à stabilisation par contact présentent une dépense électrique presque similaire, soit respectivement de 0.174 et 0.189 kWh/m³. Le procédé de boues activées utilisant l'oxygène pur permet une augmentation de l'efficacité énergétique hydraulique avec une valeur moyenne de 0.114 kWh/m³. Par contre, les variantes à aération prolongée entraînent une hausse considérable de la demande électrique; une moyenne de 0.480 kWh/m³ est avancée par Owen (1982). Il faut prendre note que cette variante permet, dans bien des cas, d'éviter l'emploi ultérieur d'une étape de digestion de ces boues secondaires.

Pour les systèmes conventionnels de boues activées, l'efficacité d'oxygénation varie entre 0.8 et 2.2 kWh/kg O₂, soit l'équivalent d'une consommation d'énergie spécifique pour la stabilisation de la matière organique de 0.86 à 2.42 kWh/kg DBO₅ enlevé (Owen, 1982). De même, l'efficacité d'oxygénation des systèmes de boues activées à l'oxygène pur se situe entre 0.81 et 1.1 kWh/kg O₂, ce qui correspond à une consommation de 0.88 à 1.17 kWh/kg DBO₅ enlevé.

Pour les fossés d'oxydation à aération prolongée, une efficacité de 1.1 à 2.4 kWh/kg O₂ a été établie, ceci équivalent à une consommation de 1.50 à 3.30 kWh/kg DBO₅ enlevé. Pour sa part, Andersson (1980) a mesuré l'efficacité d'oxygénation et la consommation d'énergie spécifique dans huit stations d'épuration de type boues activées au Danemark; une efficacité d'oxygénation variant entre 0.5 et 2.0 kWh/kg O₂ a été calculée, alors que la consommation d'énergie se situait entre 0.64 et 3.60 kWh/kg DBO₅ enlevé.

Nitrification biologique

L'ajout d'une étape de nitrification biologique dans le traitement secondaire des eaux usées entraîne une dépense énergétique supplémentaire pour l'aération se situant approximativement à 0.09 kWh/m³, ce qui équivaut environ entre 11.7 et 21.7 % de la demande totale. Cette dépense électrique moyenne a également été confirmée par Owen (1982) pour les stations d'épuration américaines, avec une valeur globale de 0.099 kWh/m³.

Décantation secondaire

La séparation des boues produites s'effectue habituellement par une étape de sédimentation gravitaire dans des décanteurs munis de racleurs mécanisés. Tout comme pour la décantation primaire, une faible quantité d'énergie est associée à ce procédé, soit environ 0.004 kWh/m³ ou encore 0.5 à 1.5 % de la consommation globale d'électricité des moyennes et grosses stations. Pour les petites stations, Middlebrooks *et al.* (1981) suggèrent un apport énergétique de 0.008 kWh/m³ (18 925 m³/d) à 0.065 kWh/m³ (189 m³/d),

c'est-à-dire une proportion variant entre 3.2 et 11.6 % de la dépense énergétique totale des ouvrages d'assainissement. Le document de Wesner *et al.* (1978) identifie la demande énergétique pour la décantation secondaire des boues activées et des boues issues de filtration biologique. Pour le premier cas, la consommation varie entre 0.0362 et 0.0059 kWh/m³, alors que le second requiert entre 0.0268 et 0.0006 kWh/m³.

Pompage de retour des boues activées

Le pompage nécessaire à la recirculation des boues secondaires décantées résulte en une consommation électrique de l'ordre de 0.008 à 0.012 kWh/m³. Cet apport énergétique constitue, selon le scénario de traitement, entre 1.5 et 3.5 % de l'électricité consommée dans les stations de forte et moyenne capacités.

6.3.2 Biodisques

La dépense énergétique reliée à l'utilisation des disques biologiques rotatifs dans les petites stations a été examinée par Middlebrooks *et al.* (1981). Cet auteur a établi la consommation électrique moyenne à 0.053 kWh/m³, ce qui correspond à une part variant entre 20.2 % (189 m³/d) et 37.5 % (18 925 m³/d) de la demande totale de la station. D'après Wesner *et al.* (1978), le traitement par disques biologiques nécessite de 0.228 à 0.246 kWh/m³, pour des stations traitant entre 379 et 37 860 m³/d. Selon Owen (1982), une consommation totale de 757 MWh/d est reliée à l'emploi des disques biologiques dans les stations américaines, pour un débit hydraulique de 4.73 Mm³/d (555 unités). Tenant compte de ces valeurs, la dépense énergétique reliée à cette étape peut être estimée à 0.160 kWh/m³. Pour les systèmes de disques biologiques, l'efficacité d'oxygénation varie entre 0.66 et 1.32 kWh/kg O₂, soit l'équivalent d'une consommation d'énergie spécifique de 0.66 à 1.32 kWh/kg DBO₅ enlevé (Owen, 1982).

6.3.3 Biofiltration

L'utilisation de biofiltres pour l'épuration des eaux exige, certes, moins d'énergie électrique que pour les procédés par boues activées. Toutefois, ces unités doivent, à l'exception des lits bactériens conventionnels, être aérées par des systèmes d'air surpressé. De plus, le pompage des affluents et effluents contribue significativement à la demande électrique. Pour les systèmes conventionnels de lits bactériens, Burton Environmental Engineering *et al.* (1993) estiment la demande entre 0.06 et 0.09 kWh/m³, soit l'équivalent de 19.4 à 33.9 % de la chaîne de traitement. De plus, dans le cas des lits bactériens conventionnels, la consommation électrique associée à la décantation secondaire est de 0.004 kWh/m³ (0.8 à 2.3 % du total), alors que pour le pompage de recirculation des boues requiert entre 0.008 et 0.012 kWh/m³ (2.5 à 5.0 % du total). Pour les petites stations, Middlebrooks *et al.* (1981) ont

déterminé une consommation se situant entre 0.032 et 0.053 kWh/m³ pour le pompage au lit filtrant, ce qui équivaut à une fraction de la demande globale se situant entre 20.3 % (189 m³/d) et 28.8 % (18 925 m³/d). Pour ce qui est de la décantation secondaire, ces mêmes auteurs avancent une consommation électrique s'étalant entre 0.002 kWh/m³ (18 925 m³/d) et 0.045 kWh/m³ (189 m³/d).

Aux États-Unis, on a estimé à 1 436 MWh/d la consommation associée à l'opération des lits filtrants naturels (roches), pour un débit hydraulique total de 6.44 Mm³/d (2 957 unités). À partir de ces valeurs, la dépense énergétique reliée à cette pratique peut être établie à 0.076 kWh/m³ (Owen, 1982). Pour les lits filtrants synthétiques, on mesure une dépense énergétique moyenne de 0.133 kWh/m³, avec une consommation totale de 564 MWh/d et une charge hydraulique de 4.25 Mm³/d (194 unités). Les données présentées par Wesner *et al.* (1978) montrent que la consommation énergétique associée à l'emploi des lits filtrants naturels se situe entre 0.051 et 0.034 kWh/m³ et entre 0.130 et 0.094 kWh/m³ pour les lits filtrants synthétiques. Ces valeurs sont établies pour des stations de capacités variant entre 379 et 378 600 m³/d. Selon Owen (1982), les lits filtrants montrent une efficacité d'oxygénation variant entre 0.53 et 0.97 kWh/kg O₂, soit l'équivalent d'une consommation d'énergie spécifique de 0.53 à 0.97 kWh/kg DBO₅ enlevé.

6.3.4 Étangs aérés

D'après Wesner *et al.* (1978), l'emploi des étangs aérés, une pratique courante au Québec, nécessite un apport énergétique moyen de 0.195 kWh/m³. Selon Owen (1982), la dépense électrique moyenne pour l'opération des étangs aérés serait plus élevée, soit de 0.568 kWh/m³. Cette valeur moyenne a été mesurée à partir d'une consommation électrique dans les stations américaines de 10 019 kWh/d et une charge hydraulique de 17.64 Mm³/d. Pour les unités de traitement par étangs aérés, une consommation énergétique spécifique variant entre 6.82 et 17.2 kWh/kg DBO₅ enlevé est proposée par Owen (1982). Pour ce qui est des étangs aérés facultatifs, le même auteur suggère une consommation spécifique s'étalant entre 1.78 et 3.30 kWh/kg DBO₅ enlevé. *En terme d'efficacité électrique, le traitement par étang aéré est donc nettement moins performant que les systèmes d'étangs aérés facultatifs, de boues activées, de biofiltres ou de disques biologiques, lesquels montrent une consommation spécifique se situant entre 0.53 et 3.30 kWh/kg DBO₅ enlevé.*

6.4 Traitement tertiaire

Les exigences accrues en matière environnementale ont favorisé l'utilisation de procédés de finition (traitement tertiaire) qui améliorent la qualité des effluents issus des traitements primaire et secondaire. Parmi ces procédés, l'on retrouve principalement la déphosphoration chimique, la filtration tertiaire et bien sûr, la désinfection des eaux épurées. Ces traitements, souhaitables du

point de vue environnemental, entraînent cependant une augmentation de la consommation électrique à la station d'épuration.

6.4.1 Dosage des produits chimiques

Les équipements mécanisés nécessaires à l'injection des produits chimiques (sels d'aluminium ou de fer, réactifs chlorés, chaux, etc.) sont en général peu consommateurs d'énergie ($< 0.02 \text{ kWh/m}^3$), ceci équivalant à moins de 4.0 % de la dépense énergétique électrique (Burton Environmental Engineering *et al.*, 1993). Par exemple, Owen (1982) a calculé une dépense électrique moyenne de 0.017 kWh/m^3 pour le dosage du chlorure ferrique et de 0.027 kWh/m^3 pour l'ajout d'alun dans les stations d'épuration américaines.

6.4.2 Pompage pour la filtration tertiaire

L'énergie nécessaire au *pompage* des effluents pour la filtration tertiaire se situe entre 0.018 à 0.038 kWh/m^3 , soit entre 4.3 et 6.3 % de la consommation électrique globale (Burton Environmental Engineering *et al.*, 1993)

6.4.3 Filtration tertiaire

Selon cette dernière source, la *filtration tertiaire* requiert entre 0.009 et 0.036 kWh/m^3 , ce qui équivaut à environ 2.1 à 5.3 % de l'énergie électrique totale consommée à la station. Pour sa part, Owen (1982) a déterminé que la consommation électrique américaine totale pour la filtration tertiaire est de 720 MWh/d , pour une charge hydraulique de $45.17 \text{ Mm}^3/\text{d}$, ceci équivalant à une dépense électrique moyenne de 0.016 kWh/m^3 . Un apport électrique moyen de 0.065 kWh/m^3 a été établie pour la filtration sur charbon activé granulaire.

6.4.4 Désinfection des eaux

Traditionnellement, la *désinfection des eaux usées* s'effectuait, à la station, par un ajout de composés chlorés dans les effluents. Cependant, la transformation du chlore en produits organochlorés cancérigènes incite au changement de techniques de désinfection. Deux électrotechnologies, soit l'ozonisation et surtout la radiation ultraviolet, sont donc maintenant employées couramment dans les stations d'épuration d'eaux usées. Comme nous le verrons dans les pages suivantes, le choix d'une technologie de désinfection aura un effet certain sur le bilan énergétique électrique des ouvrages d'assainissement.

Chloration

Le *procédé de chloration des eaux épurées* contribue très peu au bilan de consommation de l'énergie électrique : selon Burton Environmental Engineering *et al.* (1993), elle se situe entre 0.0003 et 0.0007 kWh/m^3 , ce qui constitue approximativement entre 0.03 à 0.40 % du bilan total, dépendamment du type de

chaîne de traitement et de sa capacité hydraulique. Les données de Wesner *et al.* (1978) montrent une consommation électrique pour les systèmes de chloration-déchloration se situant entre 0.0109 et 0.0098 kWh/m³ (379 à 378 600 m³/d). Owen (1982) suggère une dépense électrique plus importante avec une valeur moyenne de 0.057 kWh/m³. Cette moyenne a été calculée à partir d'une consommation électrique américaine de 4 384 MWh/d et une charge hydraulique totale 77.06 Mm³/d.

Radiation ultraviolet

La *radiation ultraviolet* est de plus en plus employée dans les usines d'épuration pour la désinfection des eaux usées épurées. Dans les documents "Electrotechnologies for Water and Wastewater Disinfection" et "Ultraviolet Disinfection of Wastewater", l'EPRI (1993a) estime la dépense électrique associée au traitement des eaux usées par radiation U.V. entre 0.0177 et 0.0216 kWh/m³.

Les coûts d'investissement reliés aux systèmes de radiation U.V. sont moins élevés que pour les systèmes conventionnels de chloration-déchloration. En ce qui concerne les frais d'opération, ces deux technologies sont comparables. Selon Metcalf & Eddy, Inc. (1992c), les frais d'installation des systèmes de radiation U.V. sont environ 35 % de ceux associés à la mise en place des unités conventionnelles de chloration-déchloration et approximativement 20 % de ceux associés aux systèmes d'ozonisation. Cette source rapporte que les coûts d'opération de la radiation ultraviolet sont similaires à la chloration-déchloration et environ la moitié des unités d'ozonisation.

Ozonisation

Selon l'EPRI (1993a), l'*ozonisation* des eaux usées entraîne une consommation électrique moyenne de 0.0290 kWh/m³. La présence de teneurs élevées en matière organique dans les eaux épurées hausse considérablement la dose d'ozone nécessaire à la désinfection, ce qui rend parfois cette pratique onéreuse. Les coûts d'opération de l'ozonisation sont deux fois plus élevés que pour la chloration et la radiation U.V. Metcalf & Eddy, Inc. (1992c) dans leur synthèse des électrotechnologies employées pour la désinfection des eaux, mentionnent que la consommation moyenne d'énergie spécifique pour la production d'ozone est de 22 kWh/kg. Selon ces auteurs, quelques nouveaux systèmes opèrent à une consommation aussi basse que 14.3 kWh/kg ozone. De manière générale, les coûts d'énergie électrique constituent environ 75 % des coûts totaux d'opération et d'entretien des unités d'ozonisation.

6.5 Traitement et élimination des boues

L'énergie consommée aux diverses étapes du *traitement et de la disposition finale des boues* des stations d'épuration peuvent représenter une fraction très importante du bilan électrique global d'une station. Évidemment, cette avancé s'applique principalement dans les stations où les boues doivent être stabilisées et/ou déshydratées avant leur disposition dans l'environnement. À l'heure actuelle, la plupart des boues produites dans les stations de types boues activées, biodisques, biofiltration, physico-chimiques doivent subir de tels traitements. Dans la presque totalité des cas, les boues issues des traitements par lagunage (aéré ou non-aéré) et par utilisation de fosses septiques communes ne sont pas traitées à la station d'épuration.

6.5.1 Épaississement des boues

L'épaississement préalable des boues d'épuration avant leur stabilisation dans des digesteurs ou avant déshydratation est une pratique qui permet de réduire significativement les coûts de traitement des boues. Pour les boues primaires, cette étape s'effectue par une simple sédimentation gravitaire dans des décanteurs, alors que pour les boues secondaires la flottation à l'air dissous est d'usage commun.

Épaississement gravitaire

Selon Burton Environmental Engineering *et al.* (1993), la consommation électrique associée à l'*épaississement gravitaire* peut être estimée entre 0.0004 et 0.0016 kWh/m³, ce qui correspond à environ 0.09 à 0.33 % de la demande totale pour les moyennes et grosses stations. Pour les usines de faible capacité, Middlebrooks *et al.* (1981) situent la consommation entre 0.0004 et 0.0005 kWh/m³ pour cette pratique, ce qui correspond à une fraction de la demande globale se situant entre 0.09 % (189 m³/d) et 0.16 % (18 925 m³/d). L'analyse des stations d'épuration américaine montre une dépense électrique de 0.0008 kWh/m³ pour cette étape. Cette moyenne est calculée pour une consommation électrique de 30 MWh/d avec un débit de 38.05 Mm³/d (940 unités). Selon le document de l'EPRI (1993c) intitulé "Energy Efficiency in Wastewater Treatment", la dépense électrique associée à l'épaississement gravitaire, pour une station de 37 860 m³/d, peut être évaluée à 0.00066 kWh/m³. Un document préparé par Metcalf & Eddy, Inc. (1992b) estime à 0.00051 kWh/m³ la dépense électrique inhérente à l'épaississement gravitaire pour une station de même dimension. En ce qui concerne la consommation électrique des diverses étapes de traitement des boues d'épuration, le document produit par U.S. EPA (SCS Engineers Inc., 1985) intitulé "Estimating Sludge Management Costs, EPA-625/6-85/010" constitue un excellent ouvrage de référence. D'après cette source, une dépense énergétique de 3.9 à 7.5 kWh est nécessaire pour chaque tonne de boues sèches (tbs) épaissie par gravité.

Un programme informatisé sur chiffrier Excel (programme PIEGBE) élaboré au cours des dernières années à l'INRS-Eau, permet l'évaluation des coûts d'opération (main d'oeuvre, produits chimiques, pièces et matériaux, électricité, carburants, autres), des coûts fixes et des frais indirects des diverses chaînes conventionnelles et innovatrices de traitement et de disposition des boues d'épuration. Ce programme a été conçu à partir d'un modèle mathématique développé par la firme d'experts conseils Boileau & Associés Inc. *et al.* (1989) et également de divers documents scientifiques (Environnement Canada, 1980; Gauthier et Jalbert, 1991; Lalumière et Gagnon, 1991; Ross *et al.*, 1984; Saint-Yves, 1989). Le modèle de Boileau & Associés est basé principalement sur les informations contenues dans un rapport de l'agence de protection environnementale américaine (SCS Engineers Inc., 1985), ainsi que sur une série de rapports techniques reconnus, tels le logiciel CAPDET (Côté et Pineau, 1983; McGhee *et al.*, 1983; Pineau *et al.*, 1985; U.S. EPA, 1981) et plusieurs autres volumes de l'U.S. EPA (U.S. EPA, 1979, 1989; DeWolf *et al.*, 1984). Des consultations auprès de diverses compagnies oeuvrant en traitement des eaux usées ont également été requises pour l'obtention de coûts représentatifs de la situation québécoise actuelle. Selon ce programme, la quantité d'électricité requise annuellement pour l'épaississement gravitaire peut être estimée selon l'équation suivante :

$$CE = -190 (DM)^2 + 6940 (DM) + 26\ 400 \quad (11)$$

où :

CE = consommation électrique en kWh/an

DM = débit massique des boues (tbs/d)

Flottation à l'air dissous

La *flottation par injection d'air surpressé* exige davantage d'énergie électrique que l'épaississement gravitaire. Burton Environmental Engineering *et al.* (1993), la situe entre 0.031 et 0.053 kWh/m³ (8.5 à 21.2 % de la demande électrique totale) pour des moyennes et fortes capacités de traitement, par rapport à l'épaississement gravitaire qui n'exige qu'une consommation située entre 0.0004 et 0.0016 kWh/m³ correspondant à environ 0.09 à 0.33 % de la demande.

Pour leur part, Middlebrooks *et al.* (1981) ont situé la consommation électrique entre 0.035 kWh/m³ (18 925 m³/d) et 0.063 kWh/m³ (189 m³/d) pour les petites installations. Cette dépense énergétique correspond à une fraction se situant entre 11.3 % et 15.9 % de la demande totale. Selon Owen (1982), une consommation totale de 1 028 MWh/d est associée à la flottation à l'air dissous dans les stations américaines, pour un débit hydraulique de 19.35 Mm³/d (313 unités) ceci correspondant à 0.053 kWh/m³. L'EPRI (1993c) évalue

à 0.048 kWh/m³ la consommation d'énergie résultant de l'utilisation de la flottation à l'air dissous pour une station-type de 37 860 m³/d. Selon SCS Engineers Inc., (1985), la flottation à l'air dissous consomme de 176 à 185 kWh/tbs.

6.5.2 Stabilisation des boues

Il existe une très large gamme de variantes de stabilisation des boues d'épuration. En pratique, cependant, trois procédés sont employés : les digestions aérobies ou anaérobies (mésophile ou thermophile) et la stabilisation par chaulage. Les pages qui suivent traitent de ces procédés et discutent du développement récent de procédés de décontamination des boues peu énergivores.

Digestion aérobie

Compte-tenu des coûts d'opération élevés des *digesteurs aérobies*, imputables en bonne partie à l'aération de ces systèmes, ce type de procédé n'est employé habituellement que dans les stations de petite et moyenne capacité (< 35 000 m³/d). Burton Environmental Engineering *et al.* (1993) ont déterminé que la consommation électrique pour le procédé conventionnel de digestion aérobie mésophile peut varier entre 0.106 et 0.317 kWh/m³. Cet apport énergétique équivaut selon les scénarios de traitement à environ 24.9 à 55.2 % de l'énergie électrique consommée à la station d'épuration. Le document préparé par Owen (1982) établit à 0.394 kWh/m³ la quantité d'électricité requise pour la digestion aérobie des boues. Cette moyenne se base sur une consommation électrique américaine de 9 628 kWh/d, pour un débit hydraulique de 24.43 Mm³/d (5 476 unités). L'utilisation d'oxygène pur permet une augmentation de l'efficacité énergétique des digesteurs aérobies, avec une valeur moyenne de 0.315 kWh/m³. Selon l'EPA, l'apport énergétique nécessaire à la digestion aérobie serait de 484 à 634 kWh/tbs avec agitation mécanique et de 792 à 925 kWh/tbs avec air diffusé (SCS Engineers Inc., 1985).

L'utilisation du programme PIEGBE permet d'évaluer la quantité annuelle d'électricité requise pour l'opération des digesteurs aérobies à partir de la relation mathématique suivante :

$$CE = 600\,425 (DM) \quad (12)$$

Digestion anaérobie

La *digestion anaérobie* nécessitant des coûts d'investissement élevés par rapport aux infrastructures de digestion aérobie, cette technologie est habituellement employée dans les stations de moyenne et grande capacités de traitement. Il faut également tenir compte que l'utilisation du méthane comme combustible, produit lors de la fermentation des matières organiques, permet de

réduire les coûts énergétiques de chauffage des installations. Globalement, la digestion anaérobie mésophile requiert entre 0.026 et 0.034 kWh/m³, ce qui correspond à, selon les cas, entre 7.8 à 16.3 % de la demande totale (Burton Environmental Engineering *et al.*, 1993). Pour les stations de faible capacité, Middlebrooks *et al.* (1981) ont calculé une consommation électrique moyenne de 0.018 kWh/m³, soit entre 3.2 et 7.2 % de l'énergie totale utilisée à la station. Une valeur moyenne de 0.045 kWh/m³ a été proposée par Owen (1982) pour cette étape de traitement des boues. Ce calcul est basé sur une consommation électrique dans les ouvrages d'assainissement américains de 3 426 kWh/d et un débit de 75.34 Mm³/d (6 747 unités). Pour ce qui est de la digestion anaérobie, SCS Engineers Inc. (1985) suggère une dépense électrique de 44 à 79 kWh/tbs.

La quantité annuelle d'électricité requise pour l'opération d'un procédé de digestion anaérobie peut être obtenue à l'aide des relations suivantes tirées du programme PIEGBE :

$$CE = 49\,518 (DM)^{0.596} \quad (13)$$

$$CE = 33\,183 (DM)^{0.800} \quad (14)$$

L'équation 13 est employée pour des débits massiques de boues (DM) inférieurs à 7.7 tonnes sèches par jour, alors que l'équation 14 est utilisée lorsque le DM est supérieur à 7.7 tbs/d.

Stabilisation chimique

La consommation électrique pour le *traitement des boues par chaulage* a été établie par Owen (1982) à 0.018 kWh/m³. Cette valeur est tirée d'une consommation électrique de 46 MWh/d et d'un débit d'eau de 2.54 Mm³/d (94 unités américaines). Selon une autre source (SCS Engineers Inc., 1985), la neutralisation des boues à la chaux exigerait un apport électrique de 0.62 à 2.38 kWh/tbs.

Procédés de décontamination

Le développement récent de quelques *procédés de décontamination* des boues permettant également une stabilisation des boues s'avère une perspective d'intérêt pour la gestion de la demande énergétique. Le Tableau 33 présente *la consommation électrique quotidienne pour les trois technologies d'enlèvement des métaux lourds présents dans les boues d'épuration développées à l'INRS-Eau*, en comparaison aux procédés conventionnels de digestion aérobie et anaérobie mésophile. Ces bilans énergétiques sont établis pour une station d'épuration traitant 20 tonnes de boues sèches par jour (population desservie d'environ 300 000 personnes). Les temps de rétention hydraulique (TRH) des boues utilisées pour les bilans sont également présentés. Ces données témoignent de l'importante économie potentielle d'énergie électrique qui pourrait être obtenue par la substitution de la digestion

aérobie par l'un des procédés de décontamination des boues. Mentionnons également que ces technologies sont nettement plus performantes que la digestion aérobie et anaérobie pour l'élimination des germes pathogènes (Blais *et al.*, 1992c; Tyagi *et al.*, 1993b). De plus, elles permettent de réduire les teneurs en métaux lourds dans les boues sous les normes prescrites pour l'épandage agricole (Blais *et al.*, 1992a, b; Tyagi et Couillard, 1990; Tyagi *et al.*, 1993a). Il faut également noter que le procédé de biolixiviation-digestion avec soufre entraîne une réduction du volume de boues produites similaire à ce qui est atteint par digestion aérobie mésophile (Tyagi *et al.*, 1993b).

Tableau 33. Consommation électrique typique des divers procédés de décontamination et stabilisation des boues d'épuration

Technologies	TRH (jours)	CE (kWh/d)
Digestion aérobie	20	17 503
Digestion anaérobie	20	722
Biolixiviation-digestion avec soufre	10	7 495
Biolixiviation avec sulfate ferreux	1.5	4 404
Lixiviation chimique	0.083	179

6.5.3 Déshydratation des boues

La déshydratation des boues représente également une étape énergivore dans la chaîne de traitement des boues d'épuration. Toutefois, comme nous le verrons dans les sections qui suivent, la consommation électrique peut varier considérablement selon la technologie employée.

Filtres-presses sous vide

Selon les recherches menées par l'EPRI (1993c), la déshydratation par *filtres-presses sous vide* nécessiterait une dépense électrique de 0.2198 kWh/m³ pour une station-type traitant 37 860 m³/d. Degrémont et Lyonnaise des Eaux (1989) suggère que cette technique de déshydratation est la plus énergivore, avec une consommation électrique variant entre 50 et 150 kWh/tbs. Metcalf & Eddy, Inc. (1992b) estime à 158 kWh/tbs, la consommation électrique pour la déshydratation sous vide des boues d'épuration. Le Tableau 34 présente une comparaison de la dépense électrique (kWh/tonnes de boues sèches) rattachée aux diverses techniques de déshydratation des boues d'épuration municipales. Les gammes de consommation sont établies pour des concentrations initiales de boues variant entre 2 et 6 % de solides. Selon ces

données, la filtration sous vide serait la technique la plus énergivore après l'utilisation de la centrifugation.

Tableau 34. Consommation électrique des diverses méthodes de déshydratation des boues d'épuration (SCS Engineers Inc., 1985)

Type de déshydratation	CE (kWh/tbs)
Filtres-presses sous vide	70 à 84
Filtres-presses à plateaux	31 à 87
Filtres à bandes presseuses	18 à 40
Centrifugeuses	88 à 383

Filtres-presses à plateaux

Selon Degrémont et Lyonnaise des Eaux (1989), l'utilisation de *filtres-presses à plateaux* exigerait la consommation de 20 à 40 kWh/tbs. Pour leur part, Metcalf & Eddy, Inc. (1992b) ont avancé une consommation de 106 kWh/tbs pour l'utilisation des filtres-presses à plateaux, alors que SCS Engineers Inc. (1985) suggère une consommation variant entre 31 et 87 kWh/tbs (Tableau 32). La consommation électrique annuelle associée à la déshydratation des boues par filtration sur presses à plateaux peut être déterminée à partir des relations mathématiques suivantes tirées du programme PIEGBE :

$$CE = 204\,798 (VCF) \quad (15)$$

$$CE = -0.242 (VCF)^3 + 12.257 (VCF)^2 + 20\,614 (VCF) + 50\,956 \quad (16)$$

où :

VCF = volume requis des chambres de filtration (m³)

L'équation 15 est employée dans les cas où VCF est inférieur à 0.282, alors que l'équation 16 est utilisée lorsque LBF est supérieur à 0.282. Le volume des chambres de filtration peut, quant à lui, être déterminé à partir de la relation :

$$VCF = 12.5 (DM) (DCF)/(SCG) (DE) \quad (17)$$

où :

DCF = durée du cycle de filtration (h)

SCG = siccité du gâteau (%)

DE = densité des boues déshydratées (t/m³)

La durée du cycle de filtration est de 2.0 heures pour des boues avec une siccité initiale de 2 %, de 2.2 heures à 4 % de siccité et de 2.5 heures à 6 % de siccité initiale.

Filtres-presses à bandes presseuses

Selon Burton Environmental Engineering *et al.* (1993), l'utilisation de *filtres-presses à bandes presseuses*, largement employée au Québec, requiert entre 0.006 et 0.012 kWh/m³. Cette consommation est l'équivalent de 1.6 à 4.5 % de l'énergie électrique d'une station d'épuration. L'EPRI (1993c) estime à 0.010 kWh/m³, la consommation électrique inhérente à la filtration sur bandes presseuses. D'après Degrémont et Lyonnaise des Eaux (1989), l'emploi de filtres à bandes presseuses est la technique de déshydratation la moins énergivore, avec une consommation d'électricité se situant entre 10 et 25 kWh/tbs. Selon Metcalf & Eddy, Inc. (1992b), l'utilisation des filtres-presses à bandes exigerait une dépense électrique de 50 kWh/tbs. Pour leur part, SCS Engineers Inc. (1985) ont établi entre 18 et 40 kWh/tbs l'apport électrique pour cette méthode de déshydratation (Tableau 34).

La consommation électrique annuelle associée à la déshydratation des boues par filtration sur bandes presseuses peut être estimée à partir des équations suivantes tirées du programme PIEGBE :

$$CE = 44\,128 \text{ (LBF)} \quad (18)$$

$$CE = -5.42 \text{ (LBF)}^3 + 234.6 \text{ (LBF)}^2 + 16\,020 \text{ (LBF)} + 13\,997 \quad (19)$$

où :

LBF = largeur des bandes filtrantes (m)

L'équation 18 est employée dans les cas où LBF est inférieur à 0.5, alors que l'équation 19 est utilisée lorsque LBF est supérieur à 0.5. La largeur des bandes filtrantes est fonction du taux de chargement et du débit massique des boues (équation 20). Le taux de chargement des boues est, à son tour, dépendant de la siccité des boues arrivant au procédé de déshydratation (Tableau 35).

$$LBF = 125 \text{ (DM/TCB)} \quad (20)$$

où :

TCB = taux de chargement des boues (kg boues sèches/m.h)

Tableau 35. Taux de chargement des boues en fonction de la siccité initiale des boues

Siccité initiale des boues (%)	Taux de chargement des boues (kg boues sèches/m.h)
2	227
3	261
4	295
5	329
6	363

Centrifugeuses

Les travaux de l'EPRI (1993c) établissent la dépense électrique de la *déshydratation des boues d'épuration par centrifugation* à 0.0311 kWh/m³, pour une station-type ayant une capacité hydraulique de 37 860 m³/d. Une consommation d'énergie électrique se situant entre 30 et 60 kWh/tbs est avancée par Degrémont et Lyonnaise des Eaux (1989), alors que Metcalf & Eddy, Inc. (1992b) suggère une dépense électrique de 284 kWh/tbs. Selon SCS Engineers Inc. (1985), la consommation électrique reliée à la centrifugation se situerait entre 88 à 383 kWh/tbs, dépendamment de la concentration initiale en solides.

Selon le programme PIEGBE, la consommation électrique annuelle associée à la centrifugation des boues peut être estimée à partir des équations suivantes :

$$CE = - 412\,500 (VBC)^2 + 712\,000 (VBC) + 500 \quad (21)$$

$$CE = 12\,300 (VBC)^3 - 35\,810 (VBC)^2 + 539\,200 (VBC) + 24\,253 \quad (22)$$

$$CE = 27\,530 (VBC)^3 - 370\,900 (VBC)^2 + 19\,643 (VBC) - 1\,557\,500 \quad (23)$$

où :

VBC = volume de boues acheminé aux centrifugeuses (m³/min)

L'équation 21 est employée dans les cas où VBC est inférieur à 0.27 m³/min. L'équation 22 est utilisée lorsque VBC est compris entre 0.27 et 1.9 m³/min, et l'équation 23 sert lorsque VBC est supérieur à 1.9 m³/min.

6.5.4 Incinération des boues

Les travaux de Owen (1982), montre que la dépense électrique moyenne associée à l'*incinération des boues* sur lit de sable fluidisé est de 0.205 kWh/m³. Cette valeur est obtenue à partir d'une consommation électrique totale de 82 MWh/d avec un débit hydraulique de 30.9 Mm³/d (482 unités). La co-incinération ou incinération normale des boues est nettement moins coûteuse, du point de vue énergétique, avec une dépense électrique moyenne estimée à 0.0027 kWh/m³. Le Tableau 36 présente une synthèse de la consommation électrique associée à l'incinération conventionnelle ou sur lit de sable fluidisé des boues d'épuration préalablement déshydratées (15 à 45 % de solides).

Tableau 36. Consommation électrique (kWh/tbs) requise pour l'incinération des boues d'épuration municipales (SCS Engineers Inc., 1985)

Type	Siccité initiale (%)	Débit massique	
		3 tbs/d	30 tbs/d
<i>Conventionnel</i>	15	329	183
	30	228	91
	45	164	49
<i>Lit de sable fluidisé</i>	15	301	301
	30	260	164
	45	256	70

Le programme PIEGBE permet d'estimer la consommation électrique pour une étape d'incinération des boues sur lit de sable fluidisé. La relation suivante est proposée pour établir la dépense énergétique annuelle (kWh/an) :

$$CE = -70 (DM)^2 + 120\,450 (DM) - 18\,350 \quad (24)$$

6.6 Éclairage et chauffage/climatisation des bâtiments

La quantité d'énergie électrique inhérente au *chauffage*, à la *climatisation* et à l'*éclairage* des ouvrages d'assainissement est fortement dépendante des conditions climatiques où se situe la station d'épuration. Une étude effectuée à partir des stations américaines démontre que l'énergie électrique moyenne dévolue à ces fonctions se situe entre 0.008 et 0.053 kWh/m³, ce qui peut être l'équivalent de 1.9 à 11.0 % de la demande globale de la station (Burton Environmental Engineering *et al.*, 1993). La fraction de la dépense énergétique associée à ces paramètres est inversement proportionnelle à la capacité

hydraulique de la station. Par exemple, pour une chaîne de traitement comprenant un système conventionnel de boues activées, avec digestion et déshydratation des boues, la proportion énergétique reliée à l'éclairage et au chauffage des installations varie entre 2.9 % pour une station de 378 600 m³/d et 8.9 % pour une station de 3 786 m³/d.

Les conditions climatiques plus froides du Québec, en comparaison à celles prévalant en moyenne aux États-Unis, fait en sorte de hausser considérablement la dépense énergétique associée au chauffage des bâtiments d'assainissement. L'analyse préparée par Wesner *et al.* (1978) détaille la consommation énergétique pour le chauffage et la climatisation des stations dans trois régions américaines, soit Los Angeles, New York et Minneapolis (Tableau 37). Notons que la région de Minneapolis a approximativement le même climat que dans le sud de la province de Québec. Le chapitre suivant présentera quelques exemples de bilan énergétique électrique pour des stations d'épuration québécoises.

Tableau 37. Consommation électrique (kWh/m³) requise pour le chauffage et la climatisation des stations d'épuration municipales

	Régions	Débit hydraulique (m ³ /d)		
		3 786	37 860	378 600
<i>Chauffage</i>	L.A.	0.00538	0.00162	0.00072
	N.Y.	0.02000	0.00627	0.00296
	<i>Minn.</i>	<i>0.03101</i>	<i>0.01068</i>	<i>0.00448</i>
<i>Climatisation</i>	L.A.	0.00018	0.00006	0.00004
	N.Y.	0.00058	0.00022	0.00012
	<i>Minn.</i>	<i>0.00047</i>	<i>0.00018</i>	<i>0.00010</i>

7. Bilan électrique des stations d'épuration québécoises

Le chapitre précédant a permis de définir, à l'aide de la littérature internationale, la consommation électrique inhérente aux divers procédés et étapes d'épuration des eaux usées municipales. Dans le présent chapitre, la répartition de la consommation d'énergie électrique pour les diverses étapes de traitement a été établie par le Groupe Environnement Shooner inc., pour quatre stations d'épuration municipales québécoises, soit la station de type physico-chimique de la Communauté urbaine de Montréal (CUM), la station de type biofiltration de la Communauté urbaine de Québec (CUQ-Ouest), la station de type boues activées de Pincourt et la station de type étangs aérés de Saint-Étienne-de-Lauzon. Les bilans de consommation électrique de ces ouvrages d'assainissement sont également analysés par rapport aux valeurs de dépense énergétique décrites précédemment. Les principales données de conception des quatre stations sont exposées au Tableau 38.

Tableau 38. Caractéristiques principales des cinq stations d'épuration ayant fait l'objet d'un sondage

Stations	Population desservie	DH (m ³ /d)	DBO ₅ aff. (kg/d)
CUM-Nord	1 200 000	1 706 000	132 454
CUQ-Ouest	237 000	157 000	16 063
Pincourt	13 545	7 878	757
St-Étienne-de-Lauzon	4 125	3 424	398

L'évaluation de la consommation d'énergie électrique (kWh) et de la demande de puissance électrique (kW) pour les quatre stations d'épuration est basée sur les informations fournies par le personnel de chaque station, ainsi que sur les relevés des compteurs d'électricité d'Hydro-Québec. Les informations disponibles, dont les principales caractéristiques sont présentées au Tableau 39, sont variables d'une station à l'autre. La nature, la quantité et la qualité de ces informations dépendent des équipements d'acquisition de données mis en place, ainsi que de leur mode d'exploitation.

Tableau 39. Sources d'informations de base pour l'évaluation de la consommation et de la demande de puissance électrique des stations d'épuration

Informations	CUM	CUQ	Pincourt	St-Étienne
<i>Demande de puissance (kW)</i>				
Liste des moteurs avec la puissance nominale	disponible	disponible	disponible	disponible
Évaluation de la puissance appelée maximale par secteur	à partir de la logique de commande et de l'expertise	à partir du temps de marche des équipements et de l'expertise	à partir du temps de marche des équipements et de l'expertise	à partir du temps de marche des équipements et de l'expertise
<i>Consommation électrique (kWh)</i>				
Compteur d'heures sur les moteurs	oui	oui	oui	oui
Compteurs d'heures reliés à un automate	oui	oui	non	non
Automate relié au système d'acquisition de données	oui, mais non fonctionnel	oui	non	non
Compilation des données par les opérateurs	non	périodiquement*	non	non
Type de support pour les données	s/o	informatique	papier	papier
Évaluation de la consommation électrique par secteur	données de base (consommation globale) et logique de commande	données de base (temps de marche et puissance)	données de base (temps de marche et puissance)	données de base (temps de marche et puissance)

* Les consommations sont généralement relevées le lundi par l'informaticien. Cette opération n'est ni automatique, ni systématique.

La consommation d'énergie électrique peut être déterminée par le biais des compteurs d'heures de fonctionnement installés sur les moteurs. Les principaux moteurs des usines sont généralement équipés d'un tel compteur et dans certains cas, l'information accumulée par ce dernier est transférée à un automate et par la suite à un système d'acquisition de données.

Par ailleurs, aucune des quatre usines étudiées n'exploite actuellement les informations disponibles dans le but d'une gestion de la consommation électrique.

Quant à la demande de puissance d'électricité, elle est généralement évaluée par le biais du compteur d'électricité d'Hydro-Québec. La fréquence des lectures est mensuelle, sauf pour la CUM où l'information est transférée au système d'acquisition de données sur une base continue.

La justesse de l'évaluation de la consommation d'énergie électrique et de la demande de puissance d'électricité dépend directement de la qualité des informations de base recueillies auprès des stations. La fréquence selon laquelle les compteurs d'heures sont relevés est également importante. Par exemple, à la station de la CUQ, l'informaticien relève les compteurs par le biais du système d'acquisition de données, généralement à chaque lundi matin. Cependant, il arrive à l'occasion que cet exercice soit réalisé une autre journée ou qu'il n'y ait tout simplement pas de relevés pour une semaine (ex: pendant les vacances du responsable). Ainsi, la période écoulée entre deux lectures n'est pas constante. De plus, les périodes d'enregistrement à l'usine ne sont pas nécessairement identiques à celles du compteur d'Hydro-Québec. Cette situation introduit un biais lors de la comparaison des valeurs obtenues à l'aide des compteurs d'heures à celles fournies par Hydro-Québec.

En outre, la division des équipements par secteur dans l'usine n'est pas toujours structurée pour faciliter les études d'énergie électrique. Ainsi, certains équipements de mesure servent à plusieurs secteurs de la station (ex: les compresseurs, les pompes d'eau de service, les soufflantes pour les bassins d'aération et de digestion des boues, etc.).

De plus, la simultanéité de fonctionnement des équipements n'est mesurée par aucun appareil. Afin d'évaluer la demande totale pour un secteur, on doit donc émettre des hypothèses de fonctionnement basées sur les temps de marche enregistrés ainsi que sur l'expertise des chercheurs. La demande de puissance globale pour l'ensemble de la station, mesurée par le compteur d'Hydro-Québec, n'est pas équivalente à la somme des puissances de chaque secteur, car les équipements de différents secteurs ne fonctionnent pas nécessairement en même temps.

Ces diverses contraintes font en sorte que les valeurs de consommation et de demande de puissance électrique fournies dans le cadre du présent mandat demeurent approximatives. Leur utilisation doit prendre en compte les limites des évaluations réalisées.

7.1 Station physico-chimique de la CUM

L'étude du bilan électrique de la station d'épuration de la CUM est facilement justifiable considérant que celle-ci est de loin la plus importante en opération au Québec. En effet, à l'heure actuelle, cette station épure les eaux usées de 35 % de la population québécoise raccordée à des ouvrages d'assainissement. De plus, à elle seule cette usine d'épuration reçoit plus de

48 % des eaux usées domestiques traitées au Québec, soit environ 1 706 000 m³/d. Il faut également tenir compte qu'avec le raccordement de l'intercepteur du versant sud de la CUM au cours de la présente année, le débit d'eau traité passera à environ 2 765 000 m³/d, et constituera alors, environ 60 % du volume d'eaux usées acheminé à des ouvrages d'assainissement municipaux québécois.

Malgré l'immensité des infrastructures d'épuration des eaux usées de la CUM, les traitements effectués sont, somme toute, relativement simples et ne comportent pas de traitement secondaire. Les Tableaux 40 et 41 présentent la consommation électrique associée aux principales étapes de traitement. Les résultats présentés ont été obtenus à partir des données recueillies pour les mois de février et de juillet 1993.

Les bilans énergétiques montrent que la consommation énergétique et la demande maximale de puissance pour les diverses étapes de traitement employées à la CUM, sont pratiquement semblables en période hivernale et en période estivale. Ce phénomène s'explique par la nature chimique des procédés utilisés, lesquels sont beaucoup moins affectés par la température des eaux, que les procédés biologiques. La consommation énergétique électrique globale de la station plus élevée en période hivernale s'explique de façon directe par la dépense électrique inhérente à la mécanique de bâtiment. Ainsi, les besoins accrus en chauffage en période froide (mois de février) résultent en une hausse de 64.5 % de la consommation électrique pour la mécanique de bâtiment, en comparaison à ce qui a été déterminée en période chaude (mois de juillet). Cet apport énergétique supplémentaire requis pour le chauffage des installations entraîne une hausse globale de 12.7 % de la consommation électrique de la station.

Les calculs effectués démontrent que la majorité de la consommation électrique (61.0 et 66.6 %) et de la puissance utilisée dans cette station est imputable au pompage des eaux usées. Les autres étapes de traitement ne constituent qu'une faible part de la consommation énergétique, avec une contribution variant entre 4 et 6 %.

En considérant l'année 1993, une valeur moyenne de 0.200 kWh/m³ a été déterminée comme efficacité énergétique hydraulique (EEH) de la station de la CUM. Du point de vue de l'efficacité énergétique épuratoire (EEE), une valeur moyenne de 4.99 kWh/kg DBO₅ enlevé a été déterminée pour cette période.

Tableau 40. Bilan énergétique du mois de février pour la station d'épuration de la CUM

Étape de traitement	CE		PA _{max} (kW)	EEH (kWh/m ³)
	(kWh/d)	(%)		
Pompage des eaux usées	217 114	61.02	9 115	0.1273
Prétraitement	17 456	4.91	727	0.0102
Décantation primaire	14 112	3.96	588	0.0083
Traitement des boues	18 083	5.08	753	0.0106
Mécanique de bâtiment*	89 056	25.03	-	0.0522
TOTAL	355 821	100	17 155	0.2086

* Pour la mécanique de bâtiment, les valeurs sont évaluées en soustrayant du compteur d'Hydro-Québec le sous-total des procédés.

Tableau 41. Bilan énergétique du mois de juillet pour la station d'épuration de la CUM

Étape de traitement	CE		PA _{max} (kW)	EEH (kWh/m ³)
	(kWh/d)	(%)		
Pompage des eaux usées	210 110	66.55	9 115	0.1232
Prétraitement	18 279	5.79	787	0.0107
Décantation primaire	15 732	4.98	678	0.0092
Traitement des boues	17 489	5.54	753	0.0103
Mécanique de bâtiment	54 131	17.14	-	0.0317
TOTAL	315 741	100	17 057	0.1851

7.2 Stations de biofiltration de la CUQ-Ouest

L'analyse de la station d'épuration de la CUQ-Ouest est de mise considérant que cette station de dimension importante traite quotidiennement environ 157 000 m³ d'eaux usées. Il faut noter aussi que cette analyse est tout à fait applicable à sa station jumelle de la CUQ-Est. Ensemble ces deux stations épurent les eaux usées de près de 15 % de la population québécoise

desservie par des ouvrages d'assainissement. De même, à eux deux ces usines d'épuration reçoivent approximativement 11 % des eaux usées municipales du Québec, soit environ 388 000 m³/d.

Les stations d'épuration de la CUQ sont parmi les plus imposantes stations d'épuration de type biofiltration en opération dans le monde. Les Tableaux 42 et 43 présentent la consommation électrique inhérente aux principales étapes de traitement impliquées dans l'épuration des eaux usées de la région de Québec. Les résultats présentés ont été obtenus à partir des données recueillies pour les mois de février et de juillet 1993.

Une différence relativement modeste est notée entre la répartition de la consommation énergétique pour les mois de février et de juillet. Ainsi, malgré que la mécanique de bâtiment qui représente seulement 12.4 % de l'énergie électrique utilisée en période estivale, constitue plus de 25.0 % de la dépense électrique en période hivernale, la consommation énergétique globale de la station est légèrement supérieure (16.1 %) en période estivale. Ce phénomène s'explique par une dépense électrique un peu moins élevée pour les diverses étapes de traitement en période hivernale, à l'exception de la mécanique de bâtiment, en particulier pour la désinfection qui n'était pas pratiquée à la CUQ-Ouest à l'hiver 1993. Mise à part la mécanique de bâtiment, le pompage des eaux usées (23.1 à 24.3 %) et la biofiltration (20.7 à 21.6 %) représentent les étapes de traitement les plus énergivores pour ce type de chaîne d'épuration des eaux. Le traitement des boues par déshydratation, séchage et incinération, constitue également une part significative (9.8 à 12.5 %) de la demande énergétique globale de la station. Lorsque pratiquée, la désinfection U.V. représente une consommation électrique importante, soit d'environ 15 % de la dépense totale de l'usine en période estivale. Au niveau de la demande de puissance appelée, il appert que le pompage des eaux usées, la biofiltration et le traitement de l'air soit les plus grands responsables des périodes de pointe de demande électrique.

Pour l'ensemble de l'année 1993, une valeur moyenne de 0.250 kWh/m³ a été déterminée la station de la CUQ-Ouest et de 0.230 kWh/m³ pour l'usine de l'Est. Ces valeurs correspondent de près à la moyenne globale des cinq stations de type biofiltration évaluées dans le cadre de cette étude, qui est de 0.248 kWh/m³. Du point de vue de l'efficacité énergétique épuratoire (EEE), la station de la CUQ-Ouest présente une valeur moyenne de 3.41 kWh/kg DBO₅ enlevé comparativement à une moyenne de 2.56 kWh/kg DBO₅ enlevé, pour les cinq stations analysées.

Tableau 42. Bilan énergétique du mois de février pour la station d'épuration de la CUQ-Ouest

Étape de traitement	CE		PA _{max} (kW)	EEH (kWh/m ³)
	(kWh/d)	(%)		
Pompage des eaux usées	9 733	24.32	766	0.0620
Prétraitement	3 244	8.11	141	0.0207
Décantation primaire	304	0.76	25	0.0019
Biofiltration	8 278	20.70	693	0.0527
Décantation secondaire	2 165	5.41	388	0.0138
Désinfection U.V.	0	0	0	0.0000
Traitement des boues	4 979	12.45	296	0.0317
Traitement de l'air	1 300	3.25	843	0.0083
Mécanique de bâtiment	10 012	25.0	-	0.0638
TOTAL	40 015	100	2 677	0.2549

Tableau 43. Bilan énergétique du mois de juillet pour la station d'épuration de la CUQ-Ouest

Étape de traitement	CE		PA _{max}	EEH
	(kWh/d)	(%)	(kW)	(kWh/m ³)
Pompage des eaux usées	11 024	23.10	957	0.0702
Prétraitement	3 887	8.15	141	0.0248
Décantation primaire	464	0.97	25	0.0030
Biofiltration	10 283	21.55	693	0.0655
Décantation secondaire	2 606	5.46	395	0.0166
Désinfection U.V.	7 316	15.33	315	0.0466
Traitement des boues	4 655	9.76	280	0.0296
Traitement de l'air	1 547	3.24	567	0.0099
Mécanique de bâtiment	5 936	12.44	-	0.0378
TOTAL	47 718	100	3 380	0.3039

7.3 Station de boues activées de Pincourt

Le traitement des eaux usées municipales par boues activées est une pratique courante tant au Québec qu'à l'étranger. L'analyse présentée dans les chapitres précédents indiquait que 36 stations de type boues activées sont en opération au Québec, traitant environ 18 % du débit total des eaux usées municipales et desservant plus de 21 % de la population raccordée. Mise à part la station de la CUO, qui est de capacité importante (136 275 m³/d), les stations de type boues activées en opération sont de faible ou moyenne capacités (511 à 52 447 m³/d). Dans le cadre de cette analyse, la station d'épuration retenue est celle de Pincourt qui est de capacité moyenne, soit de 7 878 m³/d et desservant 13 545 personnes.

La station de Pincourt comporte un procédé conventionnel de boues activées avec digestion aérobie des boues et déshydratation de celles-ci par filtration sur bandes presseuses. Les Tableaux 44 et 45 font état de la répartition de la consommation énergétique pour les principales étapes de traitement de cette station. Encore une fois, les résultats décrits ont été obtenus à partir des données recueillies pour les mois de février et de juillet 1993.

Une différence très importante est notée entre la répartition de la consommation énergétique pour les mois de février et de juillet. Ainsi, la mécanique de bâtiment qui représente seulement 8.5 % de l'énergie électrique utilisée en période estivale, constitue plus de 57 % de la dépense électrique en période hivernale. Cette modification qui s'explique évidemment par la nécessité de chauffer les infrastructures en période froide, semble être particulièrement marquée et fait certainement état d'une lacune à ce niveau. En effet, selon Wesner et al. (1978), le chauffage des stations d'épuration en climat froid (étude portant sur la région du Minnesota) nécessite, pour une usine de cette capacité, environ 0.03 kWh/m³. Or, dans le cas de Pincourt, une consommation électrique de 0.64 kWh/m³ est dédiée à l'ensemble de la mécanique de bâtiment en période hivernale. Pour les autres étapes de traitement, l'énergie électrique consommée correspond assez bien à ce qui est répertoriée dans la littérature scientifique, à l'exception du traitement des boues par digestion aérobie, où les valeurs calculées semblent être particulièrement faibles. Au niveau de la demande de puissance électrique, il appert que les boues activées et le pompage des eaux usées sont les étapes les plus impactantes pour ce type de station.

Pour l'ensemble de l'année 1993, une valeur moyenne de 0.580 kWh/m³ a été déterminée pour cette station, ce qui est quelque peu supérieure à la moyenne globale des 31 stations de type boues activées évaluées dans le cadre de cette étude, qui est de 0.330 kWh/m³. Du point de vue de l'efficacité énergétique épuratoire (EEE), la station de Pincourt est aussi un peu inférieure avec une valeur moyenne de 6.65 kWh/kg DBO₅ enlevé comparativement à 3.64 kWh/kg DBO₅ enlevé, pour les 27 stations analysées.

Tableau 44. Bilan énergétique du mois de février pour la station d'épuration de Pincourt

Étape de traitement	CE		PA _{max} (kW)	EEH (kWh/m ³)
	(kWh/d)	(%)		
Pompage des eaux usées	429	6.52	30	0.0718
Prétraitement	27	0.41	2.4	0.0045
Boues activées	1 340	20.36	78	0.2243
Décantation secondaire	538	8.17	26	0.0901
Filtration tertiaire	71	1.07	11	0.0119
Traitement des boues	384	5.83	29	0.0643
Mécanique de bâtiment	3 791	57.63	-	0.6346
TOTAL	6 579	100	365	1.1013

Tableau 45. Bilan énergétique du mois de juillet pour la station d'épuration de Pincourt

Étape de traitement	CE		PA _{max} (kW)	EEH (kWh/m ³)
	(kWh/d)	(%)		
Pompage des eaux usées	452	13.90	45	0.0692
Prétraitement	27	0.84	2.4	0.0041
Boues activées	1 662	51.12	101	0.2544
Décantation secondaire	554	17.04	27	0.0848
Filtration tertiaire	98	3.01	12	0.0150
Traitement des boues	181	5.58	18	0.0277
Mécanique de bâtiment	277	8.52	-	0.0424
TOTAL	3 251	100	185	0.4977

7.4 Station d'étangs aérés de Saint-Étienne-de-Lauzon

Le traitement des eaux usées municipales par lagunage aéré est la pratique la plus employée au Québec. En effet, plus de 179 stations de ce type ont été recensées dans le cadre de cette étude. L'ensemble de ces ouvrages traite approximativement 15 % du débit total des eaux usées municipales, ce qui équivaut à 18 % de la population desservie par des systèmes d'épuration collectifs. Les stations de type étangs aérés en fonction au Québec sont de faible ou moyenne capacités (145 à 33 981 m³/d). Pour la présente évaluation, la station d'épuration de Saint-Étienne-de-Lauzon a été sélectionnée, cette station est de dimension moyenne avec une capacité hydraulique de 3 424 m³/d et desservant 4 125 personnes.

Les Tableaux 46 et 47 expose la répartition de la consommation énergétique pour les principales étapes de traitement de cette station. Une fois de plus, les résultats présentés ont été obtenus à partir des données disponibles pour les mois de février et de juillet 1993. Évidemment, la presque totalité de la consommation électrique de cette station est imputable à l'aération des étangs. On note toutefois, que la proportion de l'énergie électrique consommée pour la mécanique de bâtiment est supérieure durant la période hivernale (27.6 %) à la période estivale (12.0 %). Ce phénomène est cependant davantage attribuable à la hausse de consommation électrique durant l'été associée à l'aération des bassins d'oxydation, qu'au chauffage des installations durant les périodes froides. En effet, l'installation d'une puissance plus élevée des soufflantes en période chaude, résulte en une augmentation de plus du double de la consommation électrique.

Il faut également remarquer que l'efficacité énergétique hydraulique de cette station, comme pour les autres stations de même type, est supérieure en saison hivernale (0.469 kWh/m³), à ce qui est mesurée en saison estivale (0.610 kWh/m³). Ce phénomène peut s'expliquer par un meilleur transfert de l'oxygène gazeux à la phase liquide à basse température, ce qui permet de réduire le débit d'air fournie aux eaux usées à épurer. Pour l'ensemble de l'année 1993, une valeur moyenne de 0.340 kWh/m³ a été calculée pour cette station, ce qui est près de la moyenne globale de l'ensemble des 150 stations de type étangs aérés examinées dans le cadre de cette étude, qui est de 0.357 kWh/m³. Du point de vue de l'efficacité énergétique épuratoire (EEE), la station de Saint-Étienne-de-Lauzon se rapproche également des autres stations avec une valeur moyenne de 3.27 kWh/kg DBO₅ enlevé comparativement à 4.95 kWh/kg DBO₅ enlevé, pour les 135 unités examinées. Ces données confirment donc le fait que cette station est fort représentative de l'ensemble du parc d'étangs aérés en opération au Québec.

En comparant la consommation d'énergie moyenne requise pour l'opération de cette station qui est de 0.340 kWh/m³, avec la valeur moyenne établie par Owen (1982) pour les systèmes d'étangs aérés en fonction aux

États-Unis, soit 0.568 kWh/m³, l'on constate que cette station comme la plupart de même type en fonction au Québec, sont, de manière générale, plus performantes du point de vue énergétique que les étangs aérés opérant chez nos voisins du sud. Les températures plus froides ainsi que la charge organique plus faible présente dans les eaux usées au Québec peuvent expliquer cette différence attribuable au design de conception et d'opération.

Tableau 46. Bilan énergétique du mois de février pour la station d'épuration de Saint-Étienne-de-Lauzon

Étape de traitement	CE		PA _{max} (kW)	EEH (kWh/m ³)
	(kWh/d)	(%)		
Étangs d'oxydation	576	72.45	30	0.3396
Mécanique de bâtiment	219	27.56	-	0.1291
TOTAL	795	100	44	0.4687

Tableau 47. Bilan énergétique du mois de juillet pour la station d'épuration de Saint-Étienne-de-Lauzon

Étape de traitement	CE		PA _{max} (kW)	EEH (kWh/m ³)
	(kWh/d)	(%)		
Étangs d'oxydation	1 277	90.31	73	0.5504
Mécanique de bâtiment	137	9.69	-	0.0591
TOTAL	1 414	100	80	0.6095

7.5 Causes potentielles de la variabilité de la consommation d'électricité dans les stations d'épuration

La consommation d'électricité de deux usines employant le même type de procédé peut varier largement en fonction de certains critères dont les principaux, ainsi que quelques exemples d'application, sont exposés aux paragraphes suivants.

7.5.1 Procédés

- Les caractéristiques des prétraitements: par exemple, des eaux insuffisamment prétraitées peuvent entraîner des lavages plus fréquents au niveau de la biofiltration. Il est donc important de

bien choisir les prétraitements en fonction du traitement secondaire employé.

- Le mode d'opération des procédés: un procédé qui n'est pas opéré de façon optimale nécessite un temps de rétention plus long pour obtenir un certain degré d'épuration des eaux.
- Le type d'aération dans les procédés biologiques: il existe une multitude d'aérateurs sur le marché, des aérateurs à grosses, moyennes et fines bulles, des aérateurs à turbine de surface et de fond, des jets, etc. Le choix des aérateurs doit tenir compte du type de procédé et des conditions d'opération. Un choix inadéquat peut entraîner des coûts énergétiques additionnels importants.
- La présence de mécanismes de contrôle automatique: la gestion automatisée de certains équipements et/ou opérations, au niveau de l'oxygène dissous dans les bassins d'aération par exemple, permet de mieux répondre aux besoins réels des procédés.

7.5.2 Caractéristiques des eaux usées à traiter

- Les caractéristiques physico-chimiques des eaux usées à traiter, principalement au niveau de la DBO_5 et des MES, mais également pour d'autres paramètres secondaires (phosphore, azote, alcalinité, etc.): des eaux fortement chargées en matières organiques requièrent davantage d'air pour leur dégradation. De plus, le rendement de la biomasse épuratoire est fonction de la présence d'éléments nutritifs essentiels.
- La température des eaux usées: les processus biologiques sont ralentis par des températures froides.
- La provenance des eaux usées: les effluents de nature industrielle peuvent inhiber le développement de la biomasse.
- Les volumes d'eaux usées à traiter (débits, variabilité temporelle, etc.): la consommation d'électricité est largement influencée par les volumes d'eaux à traiter.

7.5.3 Normes de rejet

- La sévérité des normes de rejet (DBO_5 , MES, désinfection, déphosphoration, etc.) qui varient selon la fragilité du cours d'eau récepteur et des usages qui y sont pratiqués (baignade, prise d'eau potable, ressources fauniques, etc.): plus les normes sont sévères, plus les procédés doivent être sophistiqués et nombreux.

7.5.4 Gestion des boues

- La destination finale des boues générées (valorisation agricole, incinération, enfouissement, etc.) et le degré d'avancement des procédés de conditionnement: plus les processus d'élimination de l'humidité dans les boues sont avancés, plus les dépenses énergétiques sont élevées. Le conditionnement des boues dans le but de les valoriser sur les terres agricoles est beaucoup moins élaboré que pour l'incinération, car la valorisation agricole peut être réalisée avec des boues liquides et déshydratées.

7.5.5 Équipements mécaniques

- Les caractéristiques des équipements électriques (performance, etc.): il est plus économique d'utiliser des équipements moins énergivores.
- Le mode d'entretien des équipements: un entretien préventif adéquat permet d'accroître et/ou de conserver la performance des équipements.

7.5.6 Topographie du site d'implantation de l'usine

- L'écoulement gravitaire ou pompé.

7.5.7 Mécanique de bâtiment

- La superficie des procédés couverts.
- La présence d'un système de récupération de la chaleur.
- Le traitement de l'air de procédé.
- Les conditions d'opération dans les bâtiments (nombre de changements d'air à l'heure, type d'éclairage, température et taux d'humidité de l'air, etc.).
- Le mode de chauffage de l'air ambiant.

8. Opportunités d'économie d'énergie

Ce dernier chapitre présente une synthèse des mesures d'efficacité énergétique électriques (MEEE) pouvant être implantées dans les stations d'épuration des eaux usées municipales québécoises. Ces opportunités d'économie d'énergie découlent de l'analyse de la situation particulière québécoise et des études en efficacité énergétique électrique réalisées à l'étranger et discutées dans les chapitres précédents.

Les MEEE préconisées ici touchent, d'un côté, les besoins énergétiques de base (meilleur système d'éclairage, de chauffage, de ventilation, etc.), et, d'un autre côté, l'amélioration des rendements épuratoires et l'efficacité des équipements opérés dans les stations d'épuration (changement de moteurs, remplacement des systèmes d'aération, substitutions technologiques, etc.). Sont également discutées les modifications des pratiques opératoires susceptibles d'agir sur le niveau ou la structure de la demande énergétique des ouvrages d'assainissement.

Le principe général à la base de cette discussion est que les MEEE d'intérêt seront celles qui peuvent améliorer ou conserver la performance épuratoire des stations, en relaxant les demandes de pointes, en favorisant un contrôle stratégique de la croissance de la demande et en réduisant au minimum les pertes d'énergie électrique. Les MEEE susceptibles d'apporter des solutions viables seront celles qui interviennent pour maximiser l'utilité de l'énergie électrique dans les fonctions touchant les systèmes de transport, de traitement et de disposition des eaux usées (par exemple, la quantité d'énergie nécessaire pour effectuer un travail comme le chauffage, l'entraînement du rotor d'un moteur, etc.) Dans le fonctionnement de ces systèmes, les pertes surviennent au moment de la transformation de l'énergie électrique en travail utile en raison d'un rendement limité de certains équipements, appareils, etc. Les mesures d'efficacité énergétique électrique à préconiser différeront donc, suivant le type d'usine d'épuration, en rapport avec les différents procédés, et à l'intérieur d'une même station, au niveau de la configuration des équipements, de l'âge de la station, etc.

Avant d'aborder en détails les mesures potentielles d'économies d'énergie électrique (MEEE) pour les divers étapes et secteurs du traitement des eaux usées, examinons globalement, au Tableau 48, les principales MEEE ainsi que leur incidence sur la conservation stratégique de l'énergie électrique, la gestion de la demande de puissance d'électricité et la croissance stratégique de la demande d'électricité. De plus, le Tableau 50 décrit les MEEE applicables pour chaque secteur d'une station d'épuration, alors que le Tableau 49 présente la légende des équipements électriques employés au Tableau 50.

Tableau 48. Identification des MEEE potentielles et leur incidence sur la gestion de l'énergie électrique

No.	Description des MEEE	Influence sur la gestion de l'énergie		
		Conservation stratégique	Gestion de la demande	Croissance stratégique
1	Moteur à haut rendement énergétique	2	1	
2	Entraînement de moteur à vitesse variable	2	1	
3	Aérateurs à fines bulles	3	2	
4	Boucle de contrôle de l'O.D. dans les bassins d'aération	2	1	
5	Boucle de contrôle de la TCO à l'affluent (respiromètre)	2	1	
6	Soufflantes avec des performances hydrauliques accrues	1	1	
7	Bassin d'égalisation des eaux usées	1	1	
8	Digestion anaérobie des boues	2	2	
9	Correcteur du facteur de puissance	-	2	
10	Entretien préventif des équipements mécaniques	1	-	
11	Formation des opérateurs	1	1	x
12	Gestion de la demande électrique	-	2	x
13	Système de gestion de l'énergie	2	1	x

Légende: 1 faible; 2 moyen; 3 élevé

Tableau 49. Légende des équipements électriques

Code	Équipements électriques
A	Moteur d'entraînement
B	Chauffe-eau
C	Pompe à eau
D	Pompe à sable
E	Pompe à écumes
F	Pompe à boues
G	Pompe doseuse de produits chimiques
H	Soufflante
I	Générateur d'oxygène
J	Élément chauffant
K	Lampes à ultraviolets

Tableau 50. MEEE applicables par secteur d'une station d'épuration

Description du traitement	Équipement électrique utilisé (Tableau 49)	Consommation et demande électrique	MEEE envisageables (Tableau 48)
1) Prétraitement			
Dégrilleur à nettoyage mécanique	A	faible	1
Dégrilleur statique, nettoyage à l'eau chaude	B, C	faible	1
Dégrilleur rotatif, nettoyage à l'eau chaude	A, B, C	faible	1
Récupération des déchets, convoyeur auto.	A	faible	1
Compacteur à déchets	A	faible	1
Déchiqueteur à déchets	A	moyen	1
Dessableur à vortex	A	faible	1
Dessablage aéré	H	élevé	2, 6
Enlèvement des sables	D	faible	1
Lavage des sables	A	faible	1
Bassin d'égalisation aéré	A, H	élevé	1, 2, 6
2) Traitement primaire			
Décantation primaire (incluant les écumes)	A	faible	1
Enlèvement des écumes	E	faible	1
Récupération des boues primaires	F	faible	1
3) Traitement secondaire			
<i>Physico-chimique</i>			
Bacs de mélange des produits chimiques	A	faible	1
Dosage des produits chimiques	G	faible	1
<i>Biofiltration et lits bactériens</i>			
Eau de lavage	C	moyen	1
Air de lavage	H	élevé	2, 6
<i>Disques biologiques</i>			
Recirculation des boues	F	faible	1

Tableau 50. MEEE applicables par secteur d'une station d'épuration (suite)

Description du traitement	Équipement électrique utilisé (Tableau 49)	Consommation et demande électrique	MEEE envisageables (Tableau 48)
<i>Boues activées (différentes formes)</i>			
Aération par diffusion	H	élevé	2, 3, 4, 5, 6
Aération de surface ou par jet	A, C	élevé	1, 2, 3, 4, 5
Oxygène pur	I	élevé	4, 5
Agitation mécanique	A	moyen	1
Recirculation des boues	F	faible	1
<i>Digestion anaérobie</i>			
Brassage	A	moyen	1
Chauffage	J	élevé	
<i>Étangs aérés</i>			
Aération par diffusion	H	élevé	2, 3, 4, 5, 6
Aération de surface ou par jet	A, C	élevé	1, 2, 3, 4, 5
Dosage de l'alun	G	faible	1
<i>Décantation secondaire (incluant écumes)</i>			
Enlèvement des écumes	E	faible	1
Récupération des boues secondaires	F	faible	1
4) Traitement tertiaire			
<i>Dénitrification biologique</i>			
Aération par diffusion	H	élevé	2, 3, 4, 6
Aération de surface ou par jet	A, C	élevé	1, 2, 3, 4
Oxygène pur	I	élevé	4
Agitation mécanique	A	moyen	1
<i>Déphosphoration physico-chimique</i>			
Bacs de mélange des produits chimiques	A	faible	1
Dosage des produits chimiques	F	faible	1
<i>Filtration</i>			
Désinfection aux ultraviolets	K	élevé	

Tableau 50. MEEE applicables par secteur d'une station d'épuration (suite)

Description du traitement	Équipement électrique utilisé (Tableau 49)	Consommation et demande électrique	MEEE envisageables (Tableau 48)
5) Traitement des boues			
<i>Stockage des boues</i>	A	moyen	1
Pompage des boues	F	faible	1
Épaississement	A	élevé	1
Pompage des boues	F	faible	1
<i>Digestion aérobie</i>			
Aération	H	élevé	2, 6
Brassage mécanique	A	faible	1
<i>Digestion anaérobie</i>			
Chauffage des boues	J	élevé	
Pompe de recirculation	F	faible	1
<i>Déshydratation</i>			
Filtre à vacuum	A	moyen	1
Filtre à bandes presseuses	A	moyen	1
Filtre à plateaux	A	moyen	1
Centrifugeuse	A	moyen	1
Convoyeur	A	faible	1
Conditionnement des boues	G	faible	1
<i>Séchage et incinération</i>	A	moyen	1

8.1 Pompage des eaux usées et des boues

Comme mentionné précédemment, *le pompage* des eaux usées et des boues s'effectue dans le réseau d'évacuation et au cours des différentes étapes de traitement. La consommation d'énergie électrique associée au pompage est donc considérable. Les mesures visant une utilisation plus efficace de l'énergie électrique dans les systèmes de pompage auront donc un impact considérable sur la consommation totale des ouvrages d'assainissement. Plusieurs travaux visant à circonscrire les opportunités d'économie d'énergie au niveau du pompage des eaux usées et des boues suggèrent diverses mesures portant sur la stratégie opératoire et sur les équipements.

Selon la WPCF (1985), ***les mesures d'économie d'énergie dans le pompage des eaux usées doivent porter prioritairement au niveau de l'entretien des équipements.*** En effet, tout colmatage des pompes, des soupapes ou des conduites, toute usure sur l'impulseur qui réduit sa dimension réelle, ainsi que toute usure sur l'impulseur et le carter, qui accroît les jeux entre les pièces fixes et mobiles, réduit le rendement des pompes et augmente la consommation d'énergie. Il en est de même au niveau du rendement des moteurs de pompes. Dans ce cas, de fréquents marches-arrêts du moteur, pouvant être occasionnés, par exemple, par un mauvais réglage de contrôle du niveau de liquide, peuvent augmenter la consommation d'énergie électrique et indiquent habituellement, un rapport inadéquat entre la taille des pompes et la capacité des fosses d'aspiration. ***Une attention doit également être portée à la propreté et à l'ajustement des contacts électriques essentiels pour une utilisation optimale de la puissance.*** Des contacts altérés et desserrés entraînent des pertes de chaleur dans le système électrique et dissipe une fraction de la puissance.

Selon Burton Environmental Engineering *et al.* (1993), la gestion de la demande électrique au niveau des systèmes de pompage implique l'utilisation efficace de l'énergie électrique dans les équipements (stratégie de conservation), ou encore des modifications sur le profil temporel de la consommation électrique (gestion de la charge). ***L'étude suggère que, dans le cas des opérations à forte consommation d'électricité comme les systèmes de pompage, des économies d'énergie substantielles peuvent être obtenues en utilisant des moteurs à haute efficacité.*** Cette étude souligne en effet que les moteurs à haute efficacité sont de 3 à 5 % plus performants que les moteurs standards, et ont un facteur de puissance plus élevé. ***Pour les cas de fluctuations importantes de la charge hydraulique, l'emploi de pompes à débit variable permet aussi de réaliser des économies d'énergie en fournissant seulement la puissance nécessaire pour une opération donnée. Il est toutefois recommandé d'employer des pompes à débit constant lorsque les conditions opératoires sont optimisées et fixes*** (Metcalf & Eddy, Inc., 1992b).

D'autres mesures peuvent également conduire à une diminution significative de la demande. Par exemple, **la réduction, lorsque possible, de la hauteur de la tête d'eau des pompes et du nombre de coudes dans les conduites.** Une mesure particulièrement recommandable au Québec, consiste à **l'installation et à l'optimisation de l'utilisation des bassins d'égalisation des eaux et de stockage des boues pour une opération accrue des pompes en période hors pointe. Des mesures correctrices devraient également être apportées à la puissance des pompes en place, notamment dans les petites stations.** En effet, celles-ci sont très souvent surdimensionnées, ceci entraînant des consommations d'énergie injustifiées du point de vue de la performance épuratoire.

Toutes ces mesures peuvent intégrer à un plan de rationalisation de la consommation électrique dans les stations d'épuration. Il faut cependant tenir compte qu'une des principales causes de pertes énergétiques reliée à l'assainissement des eaux usées provient de l'infiltration de l'eau de la nappe phréatique dans les réseaux d'égouts. Ce serait le cas des ouvrages d'assainissement des eaux usées de la CUM. Par ailleurs, les réseaux unitaires (interception des eaux domestiques, industrielles et pluviales) desservent la presque totalité du territoire québécois. Ceci résulte à l'obligation de traiter des volumes très importants d'eaux usées et occasionne une fluctuation très prononcée de la charge hydraulique et organique. Considérant ces éléments, **à défaut de remplacer les réseaux d'égouts unitaires par des égouts sélectifs, il est nécessaire de veiller à optimiser l'entretien des réseaux de collecte des eaux usées.**

8.2 Prétraitement et traitement primaire

Au niveau du *traitement primaire*, **des mesures d'économie peuvent être réalisées en évitant le pompage excessif de la mousse, des écumes et des boues primaires.** Pratique très courante dans les stations de traitement des eaux usées, le surpompage augmente les besoins énergétiques. De plus, il peut causer une augmentation des besoins énergétiques pour les opérations subséquentes, comme par exemple, l'augmentation des besoins de chauffage des digesteurs.

Les retenues de grilles, après élimination de l'eau en excès, sont habituellement autocombustibles et peuvent ainsi contribuer à réduire les besoins supplémentaires de chaleur du niveau de l'incinération. **Une attention particulière devrait être portée au niveau du mélange avec les autres solides, comme les boues primaires et secondaires, ainsi que les écumes.** Au niveau du dessablage, **des économies d'énergie peuvent être obtenues en minimisant le lavage des dessableurs.** D'une manière générale, **une plus grande attention doit être accordée aux pratiques de pompage, pour réduire les volumes de boues à pomper.**

8.3 Traitement secondaire

Les opportunités d'économie d'énergie susceptibles d'être considérées au niveau du *traitement secondaire* dépendent de plusieurs facteurs dont le débit, les caractéristiques de l'affluent à traiter, le type de traitement, les exigences de rejet et les ressources humaines qui opèrent les équipements. La majeure partie des mesures suggérées dans cette section concernent les opérations énergivores traitées dans les chapitres précédents.

8.3.1 Boues activées

De nombreuses études témoignent que l'aération des systèmes de *boues activées* représente une opération nécessitant une part importante de la consommation électrique des stations d'épuration (Andersson, 1980; Metcalf & Eddy, Inc., 1992a, b; Reid, Crowther & Partners, Ltd, 1978). L'efficacité du procédé repose principalement sur le contrôle de la concentration d'oxygène dissous dans l'eau. Si la teneur de ce paramètre est insuffisante, la biomasse ne pourra survivre, des problèmes d'odeur apparaîtront et certaines espèces indésirables de bactéries se multiplieront, notamment les bactéries filamenteuses responsables du foisonnement des boues activées. À l'inverse, si la concentration d'oxygène dissous est trop élevée, la quantité excédentaire sera tout simplement perdue à l'atmosphère.

Plusieurs recherches ont démontré que des économies d'énergie majeures peuvent être réalisées au niveau de l'aération des bassins d'aération. En effet, la quantité d'énergie électrique consommée est déterminée principalement par la vitesse d'alimentation en air ou en oxygène, ainsi que par les caractéristiques du système d'alimentation. Ainsi, ***en contrôlant la sortie d'air dans les soufflantes de façon à maintenir l'oxygène dissous au niveau minimum requis pour un traitement adéquat, une économie d'énergie substantielle peut être réalisée. L'utilisation de diffuseurs à fines bulles ou à membranes présentant une meilleure capacité d'oxygénation que les diffuseurs conventionnels à grosses bulles permet aussi de réduire considérablement la dépense électrique.*** Par exemple, lors d'une étude menée au Danemark, Andersson (1980) a démontré que la période de remboursement pour les systèmes de contrôle d'aération avec utilisation de diffuseurs à fines bulles est en moyenne de 0.37 année. Selon Burton Environmental Engineering et al. (1993), des économies d'énergie de 9 à 40 % ont été mesurées dans des stations d'épuration américaines suite à l'installation de diffuseurs à fines bulles ou à membranes. Cette source rapporte également une période de remboursement de ces équipements variant entre 1.9 et 11.1 années. Ontario-Hydro (1993a), dans leur synthèse sur l'utilisation des systèmes d'aération à fines bulles, décrit une économie possible variant entre 20 et 40 % pour une telle substitution technologique. Une étude réalisée par Clift et Andrews (1981) a démontré qu'une économie d'énergie de 20 % peut être obtenue au niveau de l'aération des boues activées de petites stations, par

utilisation d'un système de contrôle arrêt-marche (on-off). Cette économie s'élève à 30 %, suite à l'installation d'un système de contrôle à aération variable. L'EPRI (1993b) a répertorié dans la littérature des économies d'énergie variant entre 10 et 58 %, suite à l'installation de systèmes de contrôle automatisés de l'aération.

Selon les informations qui ont été recueillies auprès de quelques usines d'épuration québécoises, aucune d'entre elles ne possède un système totalement automatique pour le contrôle de l'oxygène dans les bassins d'aération. Plusieurs stations ont même débranché leur système parce qu'il ne fonctionnait pas de façon adéquate. Il semble donc qu'il y aurait lieu d'investiger cette pratique et d'en identifier les lacunes. **De plus, il serait intéressant de vérifier dans quelle mesure il ne serait pas plus performant de mesurer le taux instantané de consommation d'oxygène (TCO) plutôt que les teneurs en oxygène dissous.** En effet, la variation de l'oxygène dissous dans les bassins d'aération n'est pas une mesure directe de la santé du procédé. Il s'écoule un certain délai entre la consommation d'oxygène par les microorganismes et la réponse dans les bassins au niveau de la teneur en oxygène dissous. Ainsi, lorsque la valeur mesurée de la concentration en oxygène descend sous la limite préétablie, le déclin de l'oxygène est déjà enclenché depuis un certain temps. En suivant en continu la concentration de la TCO dans l'affluent à l'aide d'un respiromètre, il serait possible de connaître les caractéristiques des eaux usées à traiter avant qu'elles ne parviennent dans le traitement secondaire. Il serait alors possible d'intervenir plus rapidement sur les soufflantes afin de moduler les débits d'air. **Un suivi combinant la TCO et l'oxygène dissous pourrait également être envisagé.**

Une autre mesure préconisée par Andersson (1980), et applicable à la situation québécoise, consiste en l'optimisation du rapport F/M dans les bassins d'aération. Rappelons que le rapport F/M est défini comme le rapport entre la quantité de matière organique présente dans les eaux à épurer et la concentration de biomasse disponible dans le bassin de traitement pour assimiler les matières dissoutes (exprimé en kg DBO₅/d/kg MES). Andersson a, en effet, constaté qu'une perte significative d'énergie est attribuable à un mauvais ajustement du temps de rétention hydraulique en fonction de la charge organique, ou à un âge des boues trop élevé. **La même étude suggère également d'employer des systèmes avec nitrification-dénitrification, lorsque les systèmes de boues activées doivent comprendre au moins l'étape de nitrification.** L'ajout d'une étape de dénitrification ne nécessitant pas d'aération permet de hausser l'efficacité énergétique épuratoire du traitement. **L'utilisation de pompes plus performantes pour la recirculation des boues est également une pratique énergétiquement profitable.**

Dans tous les cas de mise en place de mesures visant les économies d'énergie électrique, il est recommandé de tenir compte des effets généraux de ces mesures sur l'ensemble de la chaîne de traitement. En effet, certaines

mesures visant à économiser l'énergie électrique dans les systèmes d'aération peuvent résulter en une perte de rendement épuratoire. D'autres mesures, en augmentant la charge massique des matières solides, favorisent l'accroissement de la consommation électrique totale dans la station. Il appert que l'implantation de MEEE, dans la mesure où elles sont bien choisies, pourrait avantager les traitements de boues activées en opération au Québec, soit approximativement 36 usines traitant près de 20 % des eaux usées domestiques de la province.

8.3.2 Biodisques

Au Québec, avec 11 petites stations, la part de l'électricité dédiée à l'opération des *systèmes de biodisques* est pratiquement négligeable. Il faut noter, cependant, que l'efficacité énergétique de ce type de station est particulièrement faible en comparaison à celle décrite pour des unités en opération à l'étranger. ***Des recherches plus poussées pourraient être menées, notamment au niveau des moteurs employés et des conditions opératoires, afin de déterminer les causes de la sous-efficacité énergétique de ce type de traitement.*** Généralement, hormis les mesures portant sur le chauffage des bâtiments qui ont des effets sur les opérations, les principales mesures d'économie d'énergie pour le traitement par biodisques portent sur la vitesse de rotation du support de biomasse, puisque l'énergie électrique consommée est majoritairement utilisée dans cette opération. Selon les conditions opératoires et les exigences de rejet, la vitesse de rotation peut être ajustée pour économiser l'énergie. ***La mise au point d'un système de contrôle automatique de la vitesse de rotation des disques en fonction de la charge organique à traiter permettrait de réduire la dépense électrique.***

8.3.3 Biofiltration

La majeure partie de la consommation d'énergie dans *les procédés utilisant les lits bactériens* est utilisée pour la recirculation des eaux. Ainsi, ce sont l'amélioration des pompes et des moteurs qui est la plus susceptible d'entraîner des réductions de consommation. Malgré que la vitesse de recirculation soit la principale variable contrôlable dans le fonctionnement d'un lit bactérien, souvent celle-ci reste fixe, sans tenir compte des besoins réels. L'optimisation de la vitesse de recirculation devrait être réalisée au niveau de chaque station de traitement suivant les conditions opératoires et l'ampleur des mesures d'efficacité énergétique que l'on souhaite mettre en place. Au Québec, les systèmes de biofiltration en opération (Biocarbone, Biodrof, Biofor) sont presque exclusivement de type aéré. En plus des mesures portant sur les systèmes de pompage, une étude de la performance des systèmes d'aération devrait déboucher sur des MEEE efficaces. Il faut toutefois noter que les unités de biofiltration en opération sont très récentes et que, par conséquent, celles-ci doivent être relativement bien optimisées du point de vue énergétique. D'ailleurs, les recherches menées dans le cadre de cette étude indiquent que les stations de type biofiltration sont les plus performantes en termes d'efficacité

énergétique hydraulique (EEH) et d'efficacité énergétique épuratoire (EEE), après celles de type physico-chimique. **Considérant ces faits, il appert que la priorité des efforts en efficacité énergétique devrait porter sur les autres systèmes de traitement en opération au Québec, notamment les stations de type boues activées et étangs aérés.**

8.3.4 Étangs aérés

Bien que les stations de type *étangs aérés* ne traitent qu'environ 15 % du débit total d'eaux usées au Québec, celles-ci constituent plus de 60 % du nombre de stations en opération. Selon les analyses effectuées, ces ouvrages d'assainissement ont une efficacité énergétique faible. Sur cette base, on peut soutenir qu'il s'agit d'un domaine où les mesures d'économie d'énergie devraient engendrer des bénéfices sociaux importants. La consommation d'énergie électrique dans les étangs aérés étant attribuable, en presque totalité, à l'aération des eaux dans les bassins d'oxydation, il appert que les MEEE devraient porter sur l'opération des soufflantes et sur la substitution des systèmes de diffusion d'air ou d'aération mécanique.

Dans les étangs aérés, la teneur d'oxygène dissous est généralement mesurée hebdomadairement, à l'aide d'un oxymètre portatif. Ce contrôle vise simplement à s'assurer de la bonne santé du procédé, parce que la flexibilité des soufflantes au niveau des débits d'air est généralement très réduite. En effet, les soufflantes sont de type à déplacement positif et elles sont munies de moteur à vitesse fixe. Le débit ne peut être modifié qu'en changeant les poulies d'entraînement entre le moteur et la soufflante. Cette intervention nécessite l'arrêt de l'appareil et des manipulations manuelles de l'opérateur. Elle est habituellement pratiquée au printemps et à l'automne.

Cependant, pour les étangs aérés de plus grandes dimensions (ex: Régie intermunicipale d'assainissement Desjardins, Trois-Rivières, Sorel), l'air est fourni à l'aide de soufflantes de type centrifuge. Celles-ci comportent des mécanismes additionnels (moteur à vitesse variable, ventelles d'admission modulantes, etc.) qui permettent de moduler les débits d'air au rythme des besoins du procédé. Par ailleurs, la demande d'oxygène dans des étangs aérés est relativement stable et elle varie sur de longues périodes. Les bassins ont un effet tampon autant du point de vue hydraulique que de l'épuration.

Les recommandations à ce niveau s'apparentent à celles préconisées pour l'aération des bassins de boues activées et de digestion aérobie : on privilégiera **l'utilisation de diffuseurs à fines bulles ou à membranes poreuses en remplacement des diffuseurs à grosses bulles** (presque uniquement des diffuseurs ATARA modèle 1218), et également, **la mise en place de systèmes de réglage automatisé de l'aération par un contrôle de la teneur en oxygène dissous dans les eaux usées. Des études pilotes menées dans quelques stations d'épuration devraient porter sur l'analyse**

de la faisabilité technico-économique de l'opération conjointe de ces équipements.

8.3.5 Autres systèmes

Les autres systèmes de traitement utilisés au Québec sont le traitement physico-chimique, l'utilisation de fosses septiques communes et les étangs non-aérés. **Les deux derniers tenant un rôle négligeable dans l'épuration des eaux usées domestiques au Québec, il ne semble pas important d'y apporter des efforts particuliers en efficacité énergétique.** Pour ce qui est du traitement physico-chimique, il faut mentionner qu'un programme de gestion de l'énergie, élaboré par le bureau d'efficacité énergétique du gouvernement du Québec, est à l'étude à la station d'épuration de la CUM (Bégin, 1993). **Il serait recommandable que HYDRO-QUÉBEC participe à cette étude, afin de pouvoir définir quelles seraient les mesures pertinentes à envisager pour les autres stations d'épuration québécoises.** Notons, en terminant, que le traitement physico-chimique n'est pas réellement un traitement secondaire, mais s'apparente davantage à un traitement primaire avancé. Les mesures d'efficacité énergétique discutées pour les étapes de pompage, de prétraitement, de traitement primaire et de gestion des boues sont donc applicables à ce type de traitement.

8.4 Traitement tertiaire

L'utilisation des *traitements* dits *tertiaires* est peu développée au Québec. Les types de traitement tertiaire employés se limitent presque exclusivement à la déphosphoration, à la désinfection des eaux épurées et, dans certains cas, à la filtration tertiaire. Cette section présente une brève analyse des opportunités d'économie d'énergie reliées à ces pratiques.

8.4.1 Désinfection des eaux

La désinfection des eaux épurées est une mesure peu employée au Québec. Mise à part les systèmes de lagunage (étangs aérés et non-aérés), pour lesquels le Ministère de l'Environnement du Québec estime que ces pratiques permettent une désinfection naturelle, une quinzaine de stations répertoriées utilisent une technologie de désinfection. Seulement trois stations (Notre-Dame-du-Lac, Rock Forest et Magog), traitant au total moins de 20 000 m³/d d'eaux usées, font appel encore à des procédés de chloration. Compte-tenu des problèmes associés à la formation des composés organochlorés, cette pratique ne sera certes pas privilégiée pour les prochains ouvrages d'assainissement. Par exemple, lors de la conception des ouvrages d'assainissement de la CUM, des infrastructures ont été mises en place pour la chloration des eaux. Or, ces équipements n'ont jamais été opérationnels. Ce sont plutôt les électrotechnologies, principalement la radiation ultraviolet, puisque aucune station ne comporte une étape de désinfection par ozonisation,

qui seront donc appelées à jouer un rôle plus important pour la désinfection des eaux usées. Mentionnons d'ailleurs qu'une douzaine de stations d'épuration opèrent des systèmes U.V., dont celle de la CUQ (cette station représentant 80 % des eaux subissant le traitement U.V.).

Dans le contexte actuel, l'application la plus importante de la radiation U.V. serait pour la désinfection ultérieure des effluents des ouvrages d'assainissement de la CUM. En effet, les problèmes de contamination des milieux aquatiques récepteurs de ces eaux usées, principalement observés durant la saison estivale, ont amené les gestionnaires et spécialistes de cette station à explorer, depuis quelques temps, la possibilité d'installer un système de radiation ultraviolet. Tenant compte d'une consommation électrique moyenne de 0.02 kWh/m³ pour cette activité et d'un débit hydraulique moyen de 2 765 000 m³/d (prévu à la fin de cette année après raccordement du réseau du versant sud), il appert que l'opération d'un tel système entraînerait une hausse directe de la dépense électrique de 55 300 kWh/d, ce qui représente approximativement 6.2 % de toute l'énergie consommée quotidiennement pour l'épuration des eaux usées au Québec.

Étant donné un tel impact sur la demande énergétique électrique, il serait souhaitable que HYDRO-QUÉBEC conseille les intervenants de la CUM afin, le cas échéant, de choisir le système de radiation U.V. le plus performant pour la situation donnée. Il en est de même, avec les autres municipalités qui devront, dans bien des cas, installer une technologie de désinfection des eaux.

8.4.2 Déphosphoration

La déphosphoration, aussi appelée *déphosphoration*, est appliquée comme traitement tertiaire, ou intégrée dans les traitements primaire et secondaire. Elle est communément utilisée au Québec dans les stations d'épuration municipales. Plus de 83 % du débit hydraulique total des usines subit une déphosphoration par ajout principalement de *chlorure ferrique* ou de *sulfate d'aluminium* (alun). Si l'on considère la faible dépense énergétique associée à la déphosphoration des eaux, par rapport à l'impact très bénéfique au niveau des écosystèmes naturels, il semble tout à fait approprié de promouvoir cette pratique.

En ce qui concerne les économies d'énergie envisageables, celles-ci sont assez limitées et s'associent aux mesures préconisées antérieurement pour l'utilisation des moteurs et pompes plus performantes.

8.4.3 Filtration tertiaire

Seulement quelques stations de traitement des eaux usées utilisent la *filtration tertiaire* au Québec. En terme de débit hydraulique, moins de 2 % de la

charge totale subit une telle étape de traitement. La demande électrique pour cette pratique étant également faible, l'intérêt énergétique inhérente à la filtration tertiaire semble relativement modeste.

Encore une fois, la seule mesure réaliste d'économie d'électricité envisageable se situe au niveau de l'utilisation de pompes plus efficaces sur un plan énergétique.

8.5 Traitement et élimination des boues

La consommation électrique associée au traitement et à l'élimination des boues d'épuration représente une proportion de plus en plus importante de la demande énergétique globale des ouvrages d'assainissement des eaux usées municipales. Compte-tenu de l'apport énergétique et des multiples mesures potentielles d'économie d'énergie dans ces domaines, la gestion des boues d'épuration représente un secteur d'exploration d'un intérêt évident. L'étude de la demande électrique concernant les boues d'épuration doit s'exercer à diverses étapes de la chaîne de traitement, soit au niveau du pompage et de l'épaississement des boues, de la stabilisation microbiologique de celles-ci, du conditionnement et de la déshydratation de cette biomasse, et finalement, de leur disposition et élimination finale dans l'environnement. Les pages suivantes présentent donc une analyse de la demande énergétique québécoise en relation à ces différentes phases du traitement des boues d'épuration.

8.5.1 Épaississement des boues

L'épaississement est une technique permettant de hausser le contenu en solides des boues en enlevant 60 à 80 % de la fraction liquide. Cette baisse du volume de boues permet de diminuer les infrastructures des procédés en aval, tel que, en particulier, la capacité des digesteurs aérobies et anaérobies ainsi que le dimensionnement des équipements de déshydratation des boues. Ce faisant, cette pratique relativement peu énergivore, principalement pour le cas de la sédimentation gravitaire (0.0004 à 0.0006 kWh/m³), entraîne une réduction substantielle de l'apport énergétique pour la stabilisation et la déshydratation des boues.

Une étude serait donc souhaitable afin de vérifier, dans les stations d'épuration municipales, les possibilités de mise en place de techniques d'épaississement des boues. Des efforts de recherche devraient également porter sur l'efficacité, in situ, des systèmes implantés, afin d'une part, d'optimiser ces unités et, d'autre part, de définir si le type d'épaississeur employé constitue le meilleur choix technologique pour la situation donnée.

8.5.2 Stabilisation des boues

La stabilisation des boues d'épuration est employée dans le traitement des eaux usées, afin de réduire les teneurs en microorganismes pathogènes, pour diminuer les odeurs nauséabondes et la putrescibilité des boues, ainsi que pour diminuer, dans certains cas, le volume de boues à disposer dans l'environnement. Les technologies conventionnelles utilisées pour stabiliser les boues comprennent les digestions aérobie et anaérobie mésophile, le chaulage des boues, ainsi que le compostage.

Au Québec, la stabilisation des boues dans les usines de type boues activées, biodisques et biofiltration s'effectue principalement par digestion aérobie mésophile. En effet, la faible capacité hydraulique de traitement de ces diverses stations a fait en sorte de privilégier l'implantation de procédés de digestion aérobie énergivores (frais élevés d'opération et coûts d'investissement moindres), aux dépens de procédés de digestion anaérobie peu énergivores (faibles frais d'opération, mais coûts très élevés d'investissement). Il faut également prendre note que plusieurs stations d'épuration ne comprennent pas d'étape de stabilisation des boues, celles-ci étant déshydratées, puis transportées jusqu'à un site d'enfouissement sanitaire.

Étant donné les long temps de résidence dans les bassins, les boues des traitements par lagunage (aéré et non-aéré) sont considérées comme étant stabilisées. Elles peuvent ainsi être disposées dans des sites d'enfouissement sanitaire. Toutefois, leur disposition économique constitue un problème technique non encore bien résolu : la raréfaction des lieux d'enfouissement et la hausse des taxes de disposition justifient maintenant la recherche de nouveaux débouchés. *Pour ce faire, des méthodes de stabilisation et de déshydratation de ces boues, peu coûteuses et possiblement intégrées dans des unités mobiles, devront être utilisées.*

Les boues produites dans les stations de la CUQ et de la CUM sont présentement séchées, puis incinérées. Certaines initiatives de RD&D sont en cours afin d'évaluer la faisabilité technico-économique de l'épandage agricole et sylvicole des boues. Une telle pratique, largement répandue à travers le monde, environ 30 à 40 % des boues produites sont utilisées pour la fertilisation des sols, requiert toutefois une étape préalable de stabilisation de cette biomasse. De plus, une proportion importante des boues municipales est contaminée par les métaux lourds (Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, etc.), ce qui peut empêcher leur utilisation en agriculture.

La gestion des boues d'épuration au Québec fera inévitablement l'objet de divers transferts technologiques au cours des prochaines années. Les améliorations technologiques qui seront apportés aux ouvrages d'assainissement des eaux usées entraîneront certainement une variation significative au niveau de la demande d'énergie électrique. Examinons

brièvement les opportunités d'économie d'énergie se rattachant aux procédés usuels de stabilisation des boues, ainsi qu'à certaines nouvelles voies technologiques.

Comme première mesure d'efficacité énergétique reliée à la stabilisation des boues, il peut être suggéré, lorsque possible, de privilégier l'emploi de systèmes de digestion anaérobie au lieu des systèmes aérobies. En effet, la presque totalité de l'énergie nécessaire à l'opération des digesteurs anaérobies peut être obtenue à partir du méthane généré lors de la fermentation méthanique des matières organiques. Dans les cas où il s'avère impossible d'opérer des digesteurs anaérobies, quelques mesures opératoires pourraient être entreprises. **Le remplacement des diffuseurs à grosses bulles par des diffuseurs à fines bulles présentant une meilleure capacité d'oxygénation, tout comme l'installation de système de contrôle automatisé de la teneur en oxygène dissous sont des mesures profitables pour réduire les pertes d'énergie électrique.** Les économies d'énergie réalisées dans ces cas permettent de rembourser, dans un délai assez bref, le coût initial d'investissement. **Au niveau de la stabilisation anaérobie, la mise au point au cours des dernières années d'un digesteur optimisé de type "egg-shaped" permet de diminuer la dépense électrique inhérente à ce type de traitement des boues** (Metcalf & Eddy, Inc., 1992b).

L'opération de la digestion aérobie à l'oxygène pur permet de diminuer appréciablement la consommation d'électricité des digesteurs aérobie. Cependant, cette option nécessite une certaine reconfiguration des digesteurs, afin de réduire les pertes en oxygène non-transféré à la phase liquide. De plus, il faut considérer les coûts élevés d'approvisionnement ou de préparation de l'oxygène purifié. Tenant compte de ces facteurs, il appert que la digestion aérobie à l'oxygène pur ne soit pas vouée à un développement significatif au Québec.

Le remplacement du procédé conventionnel de digestion aérobie par d'autres variantes technologiques pourrait également concourir à réduire la consommation électrique. **La digestion aérobie-anoxie, développée durant les dernières années, permet de diminuer de presque 50 % les coûts associés à l'aération des boues, sans pour autant affecter significativement la qualité du traitement.** Ce procédé se caractérise par l'emploi successif de deux phases; une première étape dans laquelle les boues sont aérées normalement, suivie d'une autre étape dans laquelle l'aération des boues est arrêtée. Lors de cette phase anoxie, les ions nitrates générées lors de la phase aérobie servent d'accepteur d'électrons pour l'oxydation des matières organiques. Par la suite, une autre étape aérobie prend place permettant de continuer la digestion des boues et également la nitrification de l'azote ammoniacal (Hao et Kim, 1990; Jenkins et Mavinic, 1989a, b; Peddie et Mavinic, 1990).

L'opération de procédés de digestion aérobie ou anaérobie thermophile, très performants pour la stabilisation microbiologique des boues, est également une voie à explorer comme technologies de substitution. En effet, ces procédés ayant des cinétiques d'oxydation plus élevées, les temps de rétention des boues sont diminués, ce qui permet de réduire l'énergie dédiée à l'aération et au brassage des boues dans les réacteurs (Gould et Drnevich, 1978; Kelly et al., 1993; Vismara, 1985). ***La combinaison de procédés thermophiles et mésophiles apparaît également une approche intéressante pour réduire la consommation énergétique.*** Un exemple de cette application est le développement du procédé combinant la digestion aérobie thermophile suivie d'une étape de digestion anaérobie mésophile (Metcalf & Eddy, Inc., 1992b). Quelques autres variantes technologiques de traitement des boues ont également été avancées à la suite de divers travaux scientifiques (Desjardins et Lessard, 1992). ***Par exemple, les connaissances actuelles portant sur les technologies de décontamination des boues d'épuration développées à l'INRS-Eau, indiquent clairement que l'opération de celles-ci puissent résulter en une réduction de la consommation électrique associée au traitement des boues.***

Le compostage ou co-compostage des boues d'épuration préalablement déshydratées est une pratique de plus en plus testée, notamment aux États-Unis (Metcalf & Eddy, Inc., 1992b). Cependant, au Québec, étant donné le climat peu propice, cette technique de stabilisation des boues est fort peu utilisée. ***L'amélioration des diverses variantes de compostage, réalisée en bonne partie par le développement d'électrotechnologies plus performantes au niveau du broyage, du mélange, du convoyage, de la ventilation et des soufflantes, fait en sorte de hausser l'intérêt de cette approche.*** La faisabilité du compostage sera étudiée pour le traitement des boues produites à la station de la CUM.

Le chaulage des boues est largement répandu aux États-Unis, mais n'est pas une pratique courante au Québec. ***Étant donné la nature souvent très acide des sols agricoles dans nos régions, ainsi que la très faible demande d'électricité requise pour ce traitement (0.62 à 2.38 kWh/tbs), il appert que cette alternative devrait être examinée plus soigneusement.*** D'ailleurs, des recherches déjà réalisées ont permis le développement de systèmes de chaulage (dosage de produits chimiques, convoyage et mélange) nécessitant un faible apport énergétique (Metcalf & Eddy, Inc., 1992b).

8.5.3 Conditionnement et déshydratation des boues

D'une manière générale, les boues sont chimiquement conditionnées avant de subir une déshydratation mécanique. Comme la quantité de produits chimiques entrant dans le conditionnement des boues varie beaucoup, la réduction de l'utilisation des produits chimiques aura aussi un effet sur la dépense d'énergie dans le système. Les gains résultant de ce type de MEEE

sont cependant forts modestes, étant donné la faible contribution au bilan énergétique de cette étape de traitement relativement à la chaîne complète de traitement des boues d'épuration. **Les mesures d'économie d'énergie pour le conditionnement chimique des boues se limitent donc principalement à l'utilisation de moteurs et de pompes plus performantes.**

Une autre approche employée à l'étranger pour le conditionnement des boues consiste en un prétraitement thermique. Le chauffage sous pression des boues sur une courte période permet une meilleure coagulation des solides suite aux bris de structures cellulaires de la biomasse. Les frais d'opération très élevés de cette technologie font en sorte que seule les très grosses stations d'épuration peuvent opérer un tel système (Metcalf & Eddy, Inc., 1992b). Deux autres électrotechnologies ont été explorées récemment, soit le conditionnement électro-acoustique et la congélation des boues. La faisabilité technico-économique à l'échelle réelle de ces procédés reste toutefois à démontrer (Metcalf & Eddy, Inc., 1992).

Pour ce qui est de la déshydratation des boues, plusieurs techniques sont couramment utilisées : filtres-presses à bandes presseuses, filtres-presses à plateaux, filtres sous-vide, centrifugeuses, etc. Au Québec, la déshydratation des boues d'épuration s'effectue dans la plupart des cas par filtration sur bandes presseuses. Cette technique est la moins énergivore. Son efficacité est cependant limitée (< 25 % de siccité du gâteau). ***Une innovation intéressante, déjà examinée au laboratoire des technologies électrochimiques et des électrotechnologies d'Hydro-Québec à Shawinigan, comprend la combinaison d'une étape de séchage par radiation infrarouge à la filtration sur bandes presseuses. Cette méthode prometteuse, permettant de hausser le rendement de déshydratation des boues, devrait être explorée dans le cadre d'une étude pilote.***

Plusieurs autres électrotechnologies ont été proposées pour la déshydratation des boues. Toutefois, il est peu probable, si l'on considère l'installation récente des dispositifs de déshydratation des boues au Québec (< 10 ans), que des substitutions technologiques importantes puissent être effectuées dans les prochaines années. On songe ici aux centrifugeuses à teneurs élevées en solides, aux presses électroacoustiques, aux presseurs verticaux à auge, aux lits de séchage sous vide, aux filtres-presses rotatifs à vis, aux filtres-presses tubulaires, aux membranes filtrantes à courant longitudinale et la déshydratation par micro-ondes et par congélation (Metcalf & Eddy, Inc., 1992b).

Le séchage thermique des boues permet de hausser la siccité des gâteaux de boues après déshydratation mécanique. De plus, il peut être considéré comme une méthode de stabilisation des boues : en effet, la chaleur atteinte lors du séchage entraînerait la destruction des microorganismes pathogènes. ***En ce sens, la substitution des procédés conventionnels de***

stabilisation des boues, par un séchage à la vapeur ou par infrarouge, représente une voie de recherche d'un intérêt évident. D'ailleurs, deux unités de stabilisation thermique seront construites sous peu à la station d'épuration de la CUM (Bégin, 1993). Il faut noter qu'aucune source d'énergie complémentaire n'est requise, le séchage s'effectuant à l'aide de gaz chauds produits par l'opération des incinérateurs.

L'amélioration de l'efficacité énergétique des incinérateurs à boues constitue également un domaine à explorer. L'efficacité énergétique des incinérateurs à foyers multiples peut être accrue par un meilleur contrôle des facteurs intervenant dans l'établissement du rendement, tout en réduisant la consommation d'électricité et/ou de gaz naturel. Ainsi, un meilleur contrôle de l'alimentation d'air de combustion, l'installation d'un analyseur d'oxygène sec, un nouveau système de maintien de la température par atomisation d'eau plutôt que celui par adduction d'air frais sont des mesures ayant été évaluées et en bonne partie instaurées à la station d'épuration de la CUM (Bégin, 1993). Selon des estimés, une économie annuelle de l'ordre de 300 000 \$ sera engendrée par ces mesures d'efficacité énergétique.

La vapeur produite lors de l'incinération des boues peut également être employée pour divers usages dans la station, permettant ainsi une réduction de la consommation électrique. Par exemple, celle-ci peut servir à la production d'eau chaude pour les besoins de la station. Elle peut être employée pour le séchage thermique des boues. Finalement, divers systèmes de chauffage électrique peuvent être remplacés par des systèmes à la vapeur.

Plus globalement, **des recherches devraient être réalisées afin d'étudier les possibilités de récupération et de réutilisation de la chaleur produite dans les diverses étapes de traitement dans les stations d'épuration.** En effet, plusieurs procédés, notamment les procédés biologiques, sont fortement influencés par la température de réaction. L'optimisation de l'utilisation de la chaleur dans les stations permettrait de hausser les performances épuratoires et de réduire la dépense électrique. La mise en place d'échangeur de chaleur entre les eaux affluentes et effluentes des stations d'épuration constitue un exemple intéressant de récupération thermique.

8.6 Éclairage, chauffage et climatisation des bâtiments

L'opération normale des ouvrages d'assainissement nécessite des dépenses d'énergie électrique pour l'éclairage, le chauffage et la ventilation des infrastructures. Plusieurs paramètres, autre que la puissance utilisée, peuvent affecter la qualité de l'éclairage, notamment les caractéristiques de distribution de lumière des luminaires, ou d'appareils d'éclairage, la hauteur des lampes, leur emplacement, etc. L'optimisation de ces éléments permettrait d'économiser de 20 à 30 % de l'énergie attribuable à l'éclairage sans aucune perte dans le rendement du travail ou de la sécurité. Dans un document portant

sur la gestion de l'énergie à la station d'épuration des eaux usées de la CUM (Bégin, 1993), on mentionne qu'un programme de contrôle de l'éclairage a été mis en place depuis juin 1992. Il consiste principalement à une surveillance rigoureuse du contrôle du système d'éclairage. Il a permis d'économiser 20 000 \$ sur une base annuelle. **Il serait donc approprié d'encourager de tels programmes de surveillance au niveau de l'éclairage, ceux-ci ne nécessitant d'ailleurs aucun investissement particulier. L'utilisation de tubes fluorescents économiseurs d'énergie permettrait également, dans certains cas, de réaliser des économies intéressantes, sans pour autant diminuer la qualité de l'éclairage.** À la station de la CUM, une telle mesure entraîne actuellement une économie annuelle de l'ordre de 19 000 \$, pour un investissement initial de 13 000 \$. La substitution de d'autres équipements d'éclairage est également à considérer. Par exemple, une économie annuelle d'environ 3 000 \$, a été réalisée à la station de la CUM, **en remplaçant les ballasts des divers systèmes d'éclairage fluorescent par des ballasts économiseurs d'énergie. La substitution de lampes à incandescence par un nouveau type de fluorescent à ballast intégré** a permis une économie annuelle de 21 000 \$, pour un déboursé initial de 12 000 \$. Ces unités d'éclairage font d'ailleurs partie du nouveau programme d'efficacité énergétique d'Hydro-Québec.

En ce qui concerne le chauffage des stations, les mesures d'économie d'énergie envisageables visent la rationalisation des besoins en chauffage des bâtiments. Selon la WPCF (1985), **la diminution, lorsque possible, de 3 à 2 changements d'air frais par heure, résulte en une baisse de l'énergie dédiée au chauffage de 25 à 30 %.** Si de plus les températures maintenues dans les pièces sont abaissées, les économies pourraient être de l'ordre de 35 à 45 %. Selon cette source, **il est suggéré de réduire le plus possible le chauffage et la climatisation pendant les fins de semaine et les jours de congé, dans les bâtiments inoccupés. Il est aussi souhaitable d'établir des températures d'exploitation minimales l'hiver et maximales l'été, en fonction de l'utilisation des locaux. Une autre mesure envisageable comprend l'installation d'un système informatisé de régulation centrale pour assurer la commande et la surveillance des installations de chauffage, de ventilation et d'air climatisé des ouvrages d'assainissement.** Le bureau de l'efficacité énergétique (B.E.E.) du gouvernement du Québec a d'ailleurs proposé cette mesure aux autorités de la station d'épuration de la CUM (Bégin, 1993).

8.7 Gestion de la demande d'électricité

Pour terminer ces recommandations, mentionnons quelques autres mesures d'efficacité énergétique dont quelques unes ont été instaurées récemment à la station d'épuration de la CUM. **La première consiste en l'optimisation de la puissance appelée par l'installation de systèmes de surveillance automatisés.** La puissance souscrite représente la puissance

minimale, fixée en collaboration avec le fournisseur d'électricité, pour laquelle le client est tenu de payer. Si celui-ci consomme moins que la puissance souscrite, il doit néanmoins payer pour la puissance souscrite car le fournisseur doit en tout temps prévoir la quantité d'électricité à livrer dans son réseau de distribution. Par contre, si la puissance utilisée ou appelée excède de 10 % ou plus la puissance souscrite, l'excédent est alors assujéti à des frais de dépassement fort onéreux. La mise en place d'instruments de contrôle permet alors aux opérateurs de prévoir les heures de surconsommation et de **prendre des dispositions tel que le délestage pour atténuer les pointes, soit en utilisant une source alternative d'énergie pour certains équipements énergivores (ex.: groupe électrogène actionnant des pompes de relèvement), en réduisant temporairement l'éclairage et/ou le chauffage dans les bâtiments, ou en dérivant les eaux usées dans des bassins d'égalisation en attendant d'être traitées.** À la station de la CUM, l'installation de tableaux visuels et sonores pour un coût de 10 000 \$, ainsi qu'une surveillance accrue de la puissance appelée, résultera en une économie annuelle de l'ordre de 300 000 \$.

La deuxième mesure consiste en l'installation d'un système automatisé de contrôle du facteur de puissance. Le facteur de puissance représente le rapport de la puissance active (kW) à la puissance apparente (kilovolts-ampères). Pour éviter une pénalité à la facturation, le facteur de puissance doit être maintenu égal ou supérieur à 95 %. À la station d'épuration de la CUM, un investissement de 2 000 \$ pour instaurer un système de contrôle constant entraîne une économie annuelle de près de 10 000 \$. **Il est également possible d'installer des condensateurs qui permettent une utilisation optimale de l'énergie électrique livrée par Hydro-Québec.**

De plus, la réussite de l'implantation de n'importe quelle MEEE repose largement sur l'intérêt du personnel de la station d'épuration. À cet effet, **la formation des opérateurs et du personnel cadre sur les questions d'économie d'énergie s'avère primordiale.** Ils doivent être informés des mécanismes d'économie d'électricité, des structures de tarification, des pénalités, etc. Ainsi, ils prendront intérêt à conserver les consommations électriques au plus bas niveau.

8.8 La mise en application des MEEE

L'instauration de mesures d'efficacité en économie d'énergie électrique doit prendre en compte un certain nombre de facteurs, dont les exigences au niveau des procédés, la facilité d'opération et d'exploitation de la part des opérateurs, la fiabilité des MEEE, leur simplicité d'opération, les coûts d'immobilisation et d'opération, leur répercussion sur la consommation des autres intrants (produits chimiques, eau de service, etc.) et sur la durée de vie des équipements (aspects mécaniques). En résumé, les MEEE doivent être appliquées dans un contexte global, toutes les répercussions doivent être

identifiées et quantifiées. La Figure 38 illustre la méthodologie d'analyse technico-économique proposée pour évaluer des MEEE.

De plus, l'orientation du choix des MEEE applicables doit également prendre en compte si l'usine est existante ou si elle est au niveau de la conception. Pour une station existante, la priorité doit s'exercer vers l'amélioration des équipements existants sans apporter de modifications importantes aux procédés d'épuration. Tandis que pour un projet à l'étude, la réflexion peut être beaucoup plus profonde et s'attarder sur les procédés eux-mêmes. Dans le cadre du présent mandat, des contacts ont été établis avec les principaux fournisseurs de technologies de la province et dans tous les cas, les développements de nouvelles technologies ou l'amélioration des procédés existants sont axés principalement sur l'amélioration de l'épuration. L'efficacité énergétique n'est pas considérée comme un axe de recherche mais devient plutôt un avantage utilisé comme argument de vente.

Finalement, compte tenu que la consommation d'électricité est largement influencée par les débits d'eaux usées, une gestion globale devrait également inclure des interventions sur les réseaux d'égout et dans certains cas (industries), directement sur les rejets d'eaux usées.

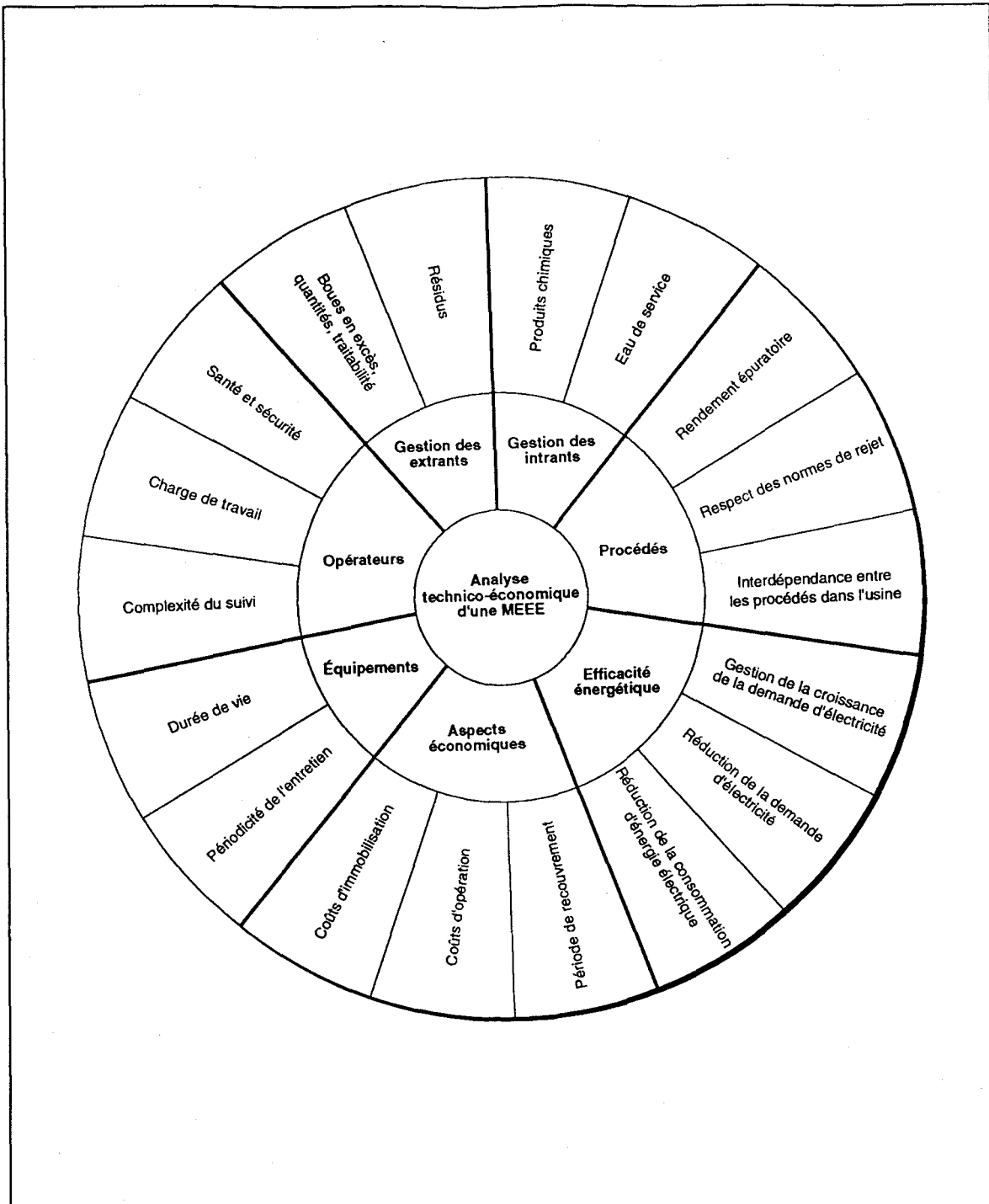


Figure 38. Méthodologie d'analyse technico-économique de mise en application d'une MEEE.

Conclusion

L'objectif recherché dans le présent volume était de réaliser un survol de la situation québécoise en matière de consommation d'électricité dans le secteur de l'épuration des eaux usées municipales et d'élaborer un ensemble de mesures d'efficacité à adopter ou à étudier pour en arriver à une meilleure utilisation de l'énergie électrique dans les ouvrages d'assainissement. Cette analyse s'est fondée sur les connaissances retrouvées dans la littérature scientifique et technique, ainsi que sur les données disponibles auprès des intervenants en la matière, notamment l'Hydro-Québec, le ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, le bureau d'efficacité énergétique du ministère de l'énergie et des Ressources, ainsi que certaines stations d'épuration des eaux, dont notamment, les stations de la Communauté Urbaine de Montréal et de la communauté Urbaine de Québec.

De manière générale, la mise en oeuvre de plusieurs mesures d'efficacité énergétique électrique pour le traitement des eaux usées devrait pouvoir se réaliser sans réduire la qualité des traitements. Dans certains cas, des modifications apportées à la gestion des procédés et des infrastructures, ou encore certaines substitutions ou changements technologiques, pourraient résulter en une amélioration des performances épuratoires. Des études de faisabilité technico-économique devraient être mises de l'avant dans le cas de mesures importantes, afin de s'assurer de leur viabilité dans le contexte québécois. Dans la stratégie de mise en place de certaines mesures, une place de choix devrait être accordée aux ressources humaines. Il serait souhaitable, par exemple, d'inciter les opérateurs à appliquer judicieusement les mesures préconisées.

Bibliographie

- Andersson, L.G. (1980). *Energy Savings at Wastewater Treatment Plants*, Luxembourg: Commission des Communautés Européennes.
- Bégin, G. (1993). *Programme de gestion de l'énergie à la station d'épuration des eaux usées de la communauté urbaine de Montréal*. Montréal: CUM. 19 pages.
- Blais, J.F., R.D. Tyagi et J.C. Auclair (1992a). Bioleaching of metals from sewage sludge by indigenous sulfur-oxidizing bacteria. *Journal of Environmental Engineering - ASCE*, 118 (5): 690-707.
- Blais, J.F., R.D. Tyagi, C.P. Huang et J.C. Auclair (1992b). Comparison of acid and microbial leaching for metal removal from municipal sludge. *Water Science and Technology*, 26 (1/2): 197-206.
- Blais, J.F., R.D. Tyagi, J.C. Auclair et M.C. Lavoie (1992c). Indicator bacteria reduction in sewage sludge by a metal bioleaching process. *Water Research*, 26 (4): 487-495.
- Boileau & Associés Inc., R. Gauthier et CQVB (1989). *Étude des coûts d'immobilisation et d'exploitation concernant les techniques de traitement des boues et des modes d'élimination finale*, (+C-Q/E37V34A31/A83). Québec: Centre Québécois de Valorisation de la Biomasse.
- Burton Environmental Engineering, RCG/Hagler, Bailly, Inc., Metcalf & Eddy, Inc. (1993). *Water and Wastewater Industries : Characteristics and DSM Opportunities*, (EPRI TR-102015, Projects 2662-10, 3046-03). Palo Alto, CA: Electric Power Research Institute.
- Cliff, R.C. et J.F. Andrews (1981). Aeration control for reducing energy consumption in small activated sludge plants. *Water Science and Technology*, 13 (7): 371-379.
- Coté, P.L. et M. Pineau (1983). *Évaluation de CAPDET- Estimation des coûts d'entretien et d'opération. Rapport technique*, Burlington: Environnement Canada, Centre technique des eaux usées.
- Dartois, J. (1992). *Rapport d'évaluation des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux du PAEQ. Année 1991*, (QEN/AE-59/1). Québec: Ministère de l'Environnement, Direction de l'assainissement urbain, Service du suivi de l'exploitation, xi, 84 p., 8 annexes.

- Degrémont et Lyonnaise des Eaux (1989). *Mémento technique de l'eau*, 2 tomes. Paris: Degrémont.
- Desjardins, B. et P. Lessard (1992). Digestion aérobie des boues : principes, modélisation et contrôle. *Sciences et Techniques de l'Eau*, 26 (3): 209-226.
- DeWolf, G., P. Murin, J. Jarvis et M. Kelly (1984). *The Cost Digest : Cost Summaries of Selected Environmental Control Technologies*, (EPA-600/8-84-010). Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency (EPA). xii, 92 pages.
- Eckenfelder, W. (1982). *Gestion des eaux usées urbaines et industrielles. Caractérisation - Techniques d'épuration - Aspects économiques*, L. Vandevenne, (trad.) xiv, 503 pages. Paris: Lavoisier.
- Environnement Canada (1980). *Coûts d'exploitation et d'entretien des installations de traitement des eaux usées municipales*, Rapport SPE 5/UP/1. Service de la Protection de l'Environnement, Environnement Canada.
- Electric Power Research Institute (1993a). Electrotechnologies for water and wastewater disinfection. *TechCommentary*, 1 (4): 1-6.
- Electric Power Research Institute (1993b). Energy-efficient aeration systems for wastewater treatment. *TechCommentary*, 1 (3): 1-6.
- Electric Power Research Institute (1993c). Energy efficiency in wastewater treatment. *TechCommentary*, 1 (2): 1-6.
- Gauthier, R. et J.-M. Jalbert (1991). Les coûts de gestion des boues de stations d'épuration. *Sciences et Techniques de l'Eau*, 24(3): 269-276.
- Gould, M.S. et R.F. Drnevich (1978). Autothermal thermophilic aerobic digestion. *Journal of Environmental Engineering - ASCE*, 104 (EE2): 259-270.
- Hao, O.J. et M.H. Kim (1990). Continuous pre-anoxic and aerobic digestion of waste activated sludge. *Journal of Environmental Engineering - ASCE*, 116 (5): 863-879.
- Jenkins, C.J. et D.S. Mavinic (1989a). Anoxic-aerobic digestion of waste activated sludge : Part I - Solids reduction and digested sludge characteristics. *Environmental Technology Letters*, 10: 350-370.
- Jenkins, C.J. et D.S. Mavinic (1989b). Anoxic-aerobic digestion of waste activated sludge : Part II - supernatant characteristics, ORP monitoring

- results and overall rating system. *Environmental Technology Letters*, 10: 371-384.
- Kelly, H.G., H. Melcer et D.S. Mavinic (1993). Autothermal thermophilic aerobic digestion of municipal sludges : A one-year, full-scale demonstration project. *Water Environment Research*, 65 (7): 849-861.
- Lalumière, A. et G. Gagnon (1991). Valorisation agricole des boues d'épuration à Jonquière. *Sciences et Techniques de l'Eau*, 24 (3): 245-251.
- McGhee, T.J., P. Mojgani et F. Vicidomina (1983). Use of EPA's CAPDET program for evaluation of wastewater treatment alternatives. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 55 (1): 35-43.
- Metcalf & Eddy, Inc. (1992a). *Opportunities for Energy Conservation and Demand-Side Management in Pumping and Aeration Systems*, (EPRI TR-101599, Project 2662-10). Palo Alto, CA: EPRI. 138 pages.
- Metcalf & Eddy, Inc. (1992b). *Opportunities for Energy Conservation and Load Shaping in Sludge Management Systems*, (EPRI TR-101026, Project 2662-10). Palo Alto, CA: EPRI.
- Metcalf & Eddy, Inc. (1992c). *Review of electrotechnologies used in the disinfection of water and wastewater*, (EPRI TR-100977, Project 2662-10). Palo Alto, CA: EPRI.
- Middlebrooks, E.J., C.H. Middlebrooks et S.C. Reed (1981). Energy requirement for small wastewater treatment systems. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 53 (6): 1172-1197.
- Ontario-Hydro (1993a). *Fine-Bubble Aeration : Wastewater Treatment Facility Retrofits*.
- Ontario-Hydro (1993b). *Municipal Water and Wastewater Treatment Facilities in Ontario. An Assessment of Electricity Use and the Impact of Environmental Regulations*.
- Owen, W.F. (1982). *Energy in wastewater treatment*, Toronto: Prentice-Hall.
- Peddie, C.C. et D.S. Mavinic (1990). A pilot-scale evaluation of aerobic-anoxic sludge digestion. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 17 (1): 68-78.
- Pineau, M., P. Côté et J.P. Villeneuve (1985). Estimation of wastewater treatment costs : Evaluation of the CAPDET model for Canadian conditions. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 12: 483-493.

- Reid, Crowther & Partners, Ltd (1978). *Conservation Measures in Waste Water Treatment Plants: A Feasibility Study*, 70 pages. Toronto: Ontario Ministry of Energy: Ontario Ministry of the Environment.
- Ross, S.A., M.G. Boivin et D.L. Caverson (1984). *Coûts d'exploitation et d'entretien des installations de traitement des eaux usées municipales - 1980*, (SPE 5/UP/1). Ottawa: Ministère des approvisionnements et services Canada. 31 pages.
- Saint-Yves, A. (1989). La valorisation agricole des boues de stations d'épuration : la question économique. *Sciences et Techniques de l'Eau*, **22 (3)**: 241-245.
- SCS Engineers Inc. (1985). *Handbook - Estimating Sludge Management Costs*, (EPA 625/6-85/010). Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency (EPA). xx, 540 pages.
- Société Québécoise d'Assainissement des Eaux (1993). *Rapport annuel 1992-1993*, Montréal: SQAÉ.
- Tyagi, R.D. et D. Couillard (1990). Bacterial leaching of metals from sludge. dans: *Encyclopedia of Environmental Control Technology*, P.N. Cheremisinoff (ed.), pp. 557-590. Houston: Gulf.
- Tyagi, R.D., J.F. Blais, J.C. Auclair et N. Meunier (1993a). Bacterial leaching of toxic metals from municipal sludge : Influence of sludge characteristics. *Water Environment Research*, 65 (3): 196-204.
- Tyagi, R.D., J.F. Blais, N. Meunier et D. Kluepfel (1993b). Biolixiviation des métaux lourds et stabilisation des boues d'épuration. Essai en bioréacteur opéré en mode cuvée. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 20 (1): 57-64.
- U.S. Environmental Protection Agency (1979). *Sludge treatment and disposal - Process design manual*, (EPA-625/1-79-011). Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- U.S. Environmental Protection Agency (1981). *Computer Assisted Procedure for the Design and Evaluation of Wastewater Treatment Systems (CAPDET). Program User's Guide*, Vicksburg, MS: Environmental Protection Agency, U.S. Army Engineering Waterways Experiment Station, Environmental Engineering Division.
- U.S. Environmental Protection Agency (1989). *Annual Volume of Sludge in the U.S. Standards for the Disposal of Sewage Sludge; Proposed rule*, Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency.

- Vismara, R. (1985). A model for autothermic aerobic digestion. Effects of scale depending on aeration efficiency and sludge concentration. *Water Research*, 19 (4): 441-447.
- Wesner, G., G. Culp, T. Lineck, et D. Hinrichs (1978). *Energy Conservation in Municipal Wastewater Treatment*, (EPA-430/9-77-011). Washington, DC.: U.S. Environmental Protection Agency.
- Water Pollution Control Federation (WPCF) et Association Québécoise des Techniques de l'Eau (AQTE) (1985). *Exploitation des stations d'épuration des eaux usées*, Ottawa: Environnement Canada.
- Water Pollution Control Federation (WPCF) et American Society of Civil Engineers (ASCE) (1988). *Aeration a Wastewater Treatment Process*, New York: WPCF/ASCE.
- Young, D.F. et B. Koopman (1991). Electricity use in small wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Engineering - ASCE*, 117 (3): 300-307.

Appendice A

**Liste des stations d'épuration des eaux usées
municipales du Québec**

Appendice A
Liste des stations d'épuration des eaux usées municipales du Québec
Source: Ministère de l'Environnement et de la Faune (1993)

Municipalité	No	Popul.	m3/j	Traitem.	Déphosph.	Désinfect.	Filtration	Mise en opér
ACTON-VALE	40400-1	4300	8330	EA	P			85.08
ALMA-1	93480-1	22216	20000	EA				86.11
ALMA-2	93480-2	48	24	FS				86.06
ALMA-3	93480-3	2986	2229	EA				85.12
AMQUI	05430-1	5430	3460	EA	P			86.10
ASBESTOS	35700-1	10225	6000	BA	P	UV		88.12
ASCOT-CORNER	36250-1	650	265	BD				82.12
AUDET	24190-1	280	106	FS				82.07
AYER'S-CLIFF	37600-1	3452	951	BA	P			87.01
BAIE-COMEAU-2	97345-2	13739	10214	EA				91.09
BAIE-SAINT-PAUL	12350-1	4587	4493	EA	P			89.10
BEAUCEVILLE	23380-1	5000	4415	BA	P	UV		86.11
BEAUHARNOIS	70180-1	9822	6613	BA				86.05
BEAULAC	26200-1	470	337	EA	P			86.10
BEEBE-PLAIN	37440-1	1094	499	EA	P			85.12
BERNIERVILLE	27350-1	1460	1075	EA	P			85.11
BOISBRIAND	63110-1	14400	12400	BF	P			91.02
BONSECOURS	39450-1	161	120	FS				86.06
BOUCHETTE	78430-1	300	158	BD				89.03
BROMONT	38780-1	4000	4034	EA	P			85.06
BROMPTONVILLE	35170-1	2858	1580	EA	P			86.09
BURY	25710-1	485	266	ENA	P			91.12
CAMPBELL'S-BAY	80260-1	1180	932	BD				86.05
CAP-AUX-MEULES	01300-1	1595	1289	EA				90.11
CHAMBLY	56120-1	18412	18640	EA	P			89.12
CHAMBORD	90160-1	1410	1003	EA				82.11
CHAPEAU	80350-1	455	449	BD				87.03

Municipalité	No	Popul	m3/j	Traitem.	Déphosph.	Désinfect.	Filtration	Mise en opér
CHATEAUGUAY	69600-1	38000	23455	BF	P	UV		91.10
CHERTSEY	61450-1	300	100	FS				87.06
CHIBOUGAMAU	98200-1	11595	12465	EA				84.11
CHICOUTIMI	94300-2	542	395	EA	P			91.09
CLERMONT	11480-1	3852	1921	EA	P			91.08
COATICOOK	37280-1	6540	4542	EA	P			86.09
COMPTON	25380-1	532	422	EA	P			87.08
CONTRECOEUR	57780-1	3486	3595	EA				87.11
COOKSHIRE	25520-1	1323	1552	EA				84.01
COWANSVILLE	54480-1	14000	16800	BA	P			86.12
CRABTREE	58150-1	1950	22716	BA	P			91.02
CUM	00065-1	1200000	1706000	PC	P			88.03
CUO	00075-1	230000	136275	BA	P			84.09
CUQ (EST)	00020-1	270000	231000	BF	P	UV		92.03
CUQ (OUEST)	00020-2	237000	157000	BF	P	UV		92.03
DANVILLE	35720-1	2903	2735	EA	P			86.10
DEAUVILLE	36400-1	3450	1115	EA	P			90.01
DEGELIS	09150-1	3000	1846	EA				86.08
DELISLE	93530-1	1349	1107	EA				86.10
DESBIENS	90160-2	1425	1516	EA	P			86.09
DISRAELI	26600-1	3500	2460	EA	P			85.01
DOLBEAU	90290-1	7445	7850	EA				86.09
DONNACONA	29280-1	6240	3815	EA				87.01
DUNHAM	54450-1	1775	848	EA	P			87.11
EAST-BROUGHTON	23460-1	2557	2242	EA	P			90.12
FARNHAM	54750-1	6500	10750	BA	P			86.10
FOSSAMBAULT-SUR-LE-LAC	29140-1	850	1946	EA				86.12
FOSSAMBAULT-SUR-LE-LAC-1	29140-2	250	125	FS				86.12
FRONTENAC	24210-1	350	140	ENA				84.10
FRONTENAC (MERCIER)	24210-2	160	110	ENA	P			90.09

Municipalité	No	Popul.	m3/j	Traitem.	Dephosph.	Désinfect.	Filtration	Mise en opér.
GASPÉ	0003	9400	11092	BF				92.06
GRANBY	39240-1	38500	50000	BA	P			84.11
GRAND-MERE	32550-1	19313	14434	EA				86.08
HAM-NORD	26690-1	500	295	EA	P			87.08
HENRYVILLE	53200-1	917	860	BD	P			88.06
HEROUXVILLE	32510-1	760	584	EA	P			91.09
ILE-PERROT	72150-1	7700	5675	BF		UV		92.08
JOLIETTE	0004	17976	27950	BF				92.12
JONQUIERE	94420-1	60000	42325	BA				86.03
L'ANNONCIATION	76520-1	1630	1623	EA				91.11
L'ASCENSION	76580-1	460	147	FS				92.01
L'ASSOMPTION	62420-1	8600	7710	EA	P			89.03
L'EPIPHANIE	62360-1	3026	2270	EA	P			87.03
LA BAIE	94190-1	18828	12460	BA		UV		89.10
LA CONCEPTION	76120-1	80	27	FS				87.06
LA GUADELOUPE	24650-1	1531	1220	EA	P			86.12
LA PLAINE	62510-1	400	256	EA	P			88.07
LA POCATIERE	10760-1	5994	6737	EA				91.12
LA PRAIRIE	66500-1	45735	53930	BA				90.09
LA TUQUE	32660-1	12816	9627	EA				89.05
LAC-A-LA-CROIX	93240-1	525	254	EA	P			91.10
LAC-BROME	38500-1	2400	3529	EA	P			86.11
LAC-BROME-1	38500-2	118	31	FS				86.09
LAC-CARRE	63670-1	1200	1070	ENA				87.11
LAC-DELAGE	20490-1	987	724	EA	P			91.12
LAC-ETCHEMIN	22230-1	3500	2650	EA	P			83.11
LAC-MEGANTIC	24200-1	8400	5680	BA	P			85.07
LACOLLE	55120-1	1760	2300	EA	P			91.12
LAROUCHE	94440-1	673	595	EA				84.12
LATERRIERE	94230-1	866	307	EA				84.12

Municipalité	No	Popul.	m3/j	Traitement	Déphosph.	Désinfect.	Filtration	Mise en opér.
LAUNAY	84420-1	161	46	FS				89.07
LAURENTIDES	62700-1	2150	2495	EA	P			86.12
LAURIER-STATION	28440-1	2470	1850	EA	P			86.11
LAVAL (FABREVILLE)	64500-1	35000	21300	PC	P			86.11
LAVAL (SAINTE-ROSE-AUTEUIL)	64500-2	26466	20276	BF				93.05
LAWRENCEVILLE	39400-1	352	567	EA	P			86.12
LE BIC	07660-1	2100	1400	EA				86.09
LEVIS	21480-1	42960	38619	EA				91.02
LORRAINE	0005	12500	9400	BF				92.12
LOTBINIERE	28660-1	450	182	EA				88.11
LUCEVILLE	07530-1	1460	900	EA				84.11
LYSTER	27510-1	1980	348	EA	P			91.08
MAGOG	37720-1	14580	15000	BA	P	CL	F	85.12
MARIEVILLE	52400-1	6000	5000	BA	P			90.12
MARSOUI	03550-1	500	220	EA				89.03
MARTINVILLE	25360-1	292	154	ENA	P			91.10
MASSUEVILLE	50180-1	742	645	EA	P			87.09
MATANE	06600-1	13400	11762	EA				85.08
MELOCHEVILLE	70460-1	1980	1582	EA				86.08
METABETCHOUAN	93320-1	2395	1427	EA				85.12
MISTASSINI	90275-1	5921	3130	EA				86.05
MONT-CARMEL	10370-1	1200	455	EA	P			85.10
MONT-LAURIER	76650-1	8700	6735	EA	P			85.11
MONT-ROLLAND	63450-1	6070	6600	BA	P		F	86.10
MONT-ROLLAND (MONT-GABRIEL)	63450-2	80	184	EA				89.09
MONT-SAINT-GREGOIRE	53550-1	880	539	BD	P			89.11
MONT-TREMBLANT	63780-2	1300	596	EA				88.07
MONT-TREMBLANT-1	63780-1	1750	300	BD	P			86.04
MONT-TREMBLANT-2	63780-3	255	100	FS				85.07
MONTMAGNY	14550-1	10760	11186	EA				91.07

Municipalité	No	Popul.	m3/j	Traitem.	Déphosph.	Désinfect.	Filtration	Mise en opér.
NANTES	24320-1	290	290	ENA	P			90.12
NEW-RICHMOND	04360-1	2700	3100	EA				91.01
NORTH-HATLEY	37650-1	1173	1035	EA	P			86.02
NOTRE-DAME-DE-L'ILE-PERROT	72130-1	3379	1724	EA				87.12
NOTRE-DAME-DES-MONTS	11580-1	608	292	ENA	P			91.08
NOTRE-DAME-DES-PINS	23370-1	501	747	BD	P	UV		86.09
NOTRE-DAME-DU-LAC	09370-1	2060	1257	BA	P	CL		82.06
NOTRE-DAME-DU-NORD	83500-1	1428	1120	EA				86.08
OMERVILLE	37740-1	1334	615	EA				83.12
PAPINEAUVILLE	75240-1	1900	1562	EA				86.09
PERCE	02150-1	425	1146	BD				89.02
PINCOURT	72180-1	13545	7878	BA	P		F	90.06
PLAISANCE	75280-1	985	895	EA	P			91.10
PLESSISVILLE	27750-1	8000	9910	EA	P			88.08
POHENEGAMOOK	10140-1	2630	1600	EA				85.07
POINTE-DU-LAC	43200-1	3060	1313	EA				90.10
PONT-ROUGE	29200-1	3200	2037	EA				86.03
PREVOST	63400-1	6375	2866	EA	P			90.11
PRINCEVILLE	34470-1	4175	5767	EA	P			87.05
RAWDON	61360-1	2272	1848	EA	P			85.07
RICHMOND	35640-1	4470	2924	EA	P			87.02
RIGAUD	72680-1	4100	2400	EA	P			86.11
RIMOUSKI	07570-1	30200	33981	EA				86.12
RISBOROUGH-ET-PARTIE-DE-MA	24170-1	710	484	EA	P			91.06
ROBERVAL	90170-1	10200	7250	EA				85.10
ROCK-Forest	36500-1	2920	2851	BA	P	CL		85.08
ROCK-ISLAND	37380-1	2100	1515	BA	P			82.01
ROSEMÈRE	0007	8700	7400	BF				92.12
ROXTON-FALLS	39730-1	1474	1000	EA	P			84.10
ROXTON-POND	39340-1	790	491	EA	P			87.12

Municipalité	No	Popul.	m3/j	Traitem.	Dephosph.	Désinfect.	Filtration	Mise en opér
SAINT-ADOLPHE-D'HOWARD	74660-1	1522	742	EA	P	UV	F	90.06
SAINT-ADRIEN	26710-1	502	168	EA				84.10
SAINT-AIME-DES-LACS	11500-1	388	445	EA				90.02
SAINT-ALEXANDRE	53450-1	1094	481	EA	P			91.12
SAINT-ALPHONSE	39260-1	70	66	FS				90.10
SAINT-ANACLET	07550-1	1509	978	EA	P			86.08
SAINT-APOLLINAIRE	28490-1	1463	1360	EA	P			88.03
SAINT-AUBERT	13680-1	618	258	EA	P			89.09
SAINT-BASILE-SUD	29320-1	1450	1741	EA	P			91.02
SAINT-BERNARD	22750-1	700	681	BA	P			85.05
SAINT-CALIXTE	61420-1	830	610	EA	P			89.03
SAINT-CELESTIN (ANNAVILLE)	33360-1	761	321	ENA				88.09
SAINT-CHARLES	15600-1	1450	1158	BA				87.12
SAINT-COME-DE-KENNEBEC	23170-1	2079	1200	EA	P			86.09
SAINT-CYRILLE-DE-WENDOVER	41660-1	1200	460	EA	P			86.12
SAINT-DAMASE	51120-1	1130	1875	EA	P			91.10
SAINT-DENIS-BROMPTON (VILLAG	35220-2	388	178	EA	P			91.07
SAINT-DENIS-BROMPTON(MONTJ	35220-1	385	347	EA	P			91.03
SAINT-DONAT	61530-1	2200	2691	ENA				88.02
SAINT-EDOUARD-DE-FABRE	83300-1	375	223	ENA	P			91.10
SAINT-ELIE-D'ORFORD	36600-1	1500	825	EA	P			84.10
SAINT-ELZEAR	23700-1	1034	804	EA	P			90.12
SAINT-EPHREM-DE-BEAUCE	23270-1	1090	1120	EA	P			86.11
SAINT-ESPRIT	61200-1	1200	647	EA	P			87.02
SAINT-ETIENNE-DE-LAUZON	21220-1	4125	3424	EA	P			87.12
SAINT-ETIENNE-DES-GRES	43400-1	1503	564	EA				90.06
SAINT-EUSTACHE	0002	32000	28000	BF				93.05
SAINT-FABIEN-DE-PANET	14240-1	1100	418	EA	P			86.04
SAINT-FELICIEN	90350-1	9750	4835	EA				85.01
SAINT-FRANCOIS-DE-SALES	90150-1	692	444	EA				89.05

Municipalité	No	Popul.	m3/j	Traitem.	Déphosph.	Desinfect.	Filtration	Mise en opér.
SAINT-GABRIEL	49400-1	4400	2086	BA	P			85.06
SAINT-GABRIEL-LALEMENT	10330-1	580	222	EA	P			90.07
SAINT-GEDEON	24130-1	1500	1023	EA				83.10
SAINT-GEDEON-1	93360-1	1200	791	EA				87.10
SAINT-GEORGES (AUBERT-GALLI	23320-1	16595	19500	BA	P	UV		86.12
SAINT-GERARD	26350-1	384	305	EA	P			89.03
SAINT-GERMAIN-DE-GRANTHAM	41730-1	1768	1406	EA	P			86.02
SAINT-GUILLAUME	42300-1	926	595	EA	P			91.09
SAINT-GUILLAUME-DE-GRANADA	83670-1	1100	334	EA				85.12
SAINT-HILARION	12300-1	610	390	EA	P			86.04
SAINT-HONORE	94510-1	2167	1745	EA	P			86.01
SAINT-HUGUES	40750-1	431	317	BD	P			87.12
SAINT-HYACINTHE	51460-1	51520	45000	BA	P			87.03
SAINT-JACQUES	61280-1	2325	1394	BA	P			89.06
SAINT-JEAN-BAPTISTE	52600-1	1425	2000	BA	P			85.12
SAINT-JEAN-CHRYSOSTOME	21300-1	12440	6660	EA	P			88.12
SAINT-JEAN-DE-LA-LANDE	23300-1	300	128	FS				85.08
SAINT-JEAN-DE-MATHA	58510-1	1292	677	EA	P			86.10
SAINT-JEAN-DES-PILES	32560-1	424	128	BD				87.12
SAINT-JOSEPH-DE-BEAUCE	23600-1	4900	5745	EA	P			88.08
SAINT-JOSEPH-DE-COLERAINE	27210-1	1500	1552	EA	P			84.08
SAINT-JOVITE	63740-1	4300	2915	BA	P			86.09
SAINT-LAZARE	15340-1	580	235	EA	P			86.06
SAINT-LEON-DE-STANDON	22290-1	1600	552	EA	P			84.07
SAINT-LIBOIRE	40300-1	935	600	EA	P			90.12
SAINT-LOUIS-DE-FRANCE	32310-1	4000	2370	EA				83.08
SAINT-LUC	06560-1	500	250	EA				86.05
SAINT-LUC (DIJON)	22270-1	374	181	ENA	P			91.08
SAINT-MALACHIE	22340-1	836	724	EA	P			90.05
SAINT-MARTIN	23220-1	1545	1126	EA	P			86.09

Municipalité	No	Popul.	m3/j	Traitement	Dephosph.	Désinfect.	Filtration	Mise en opér
SAINT-MATHIEU	84435-1	204	53	FS				85.09
SAINT-MAURICE	32330-1	1000	530	EA				83.08
SAINT-METHODE-DE-FRONTENAC	24770-1	1250	473	EA				84.12
SAINT-MICHEL-DES-SAINTS	49600-1	2100	1036	EA				90.12
SAINT-ODILON-DE-CRANBOURNE	22210-1	954	418	EA	P			89.10
SAINT-PASCAL	10420-1	3000	2675	EA	P			86.08
SAINT-PIE	40120-1	1890	1230	EA	P			88.01
SAINT-PLACIDE	73500-1	330	175	BD				83.09
SAINT-PRIME	90190-1	1220	1481	EA	P			87.02
SAINT-PROSPER	22180-1	2427	1653	EA	P			86.12
SAINT-RAPHAEL	15510-1	1364	863	EA	P			87.12
SAINT-ROBERT-BELLARMIN	24110-1	347	136	ENA				87.11
SAINT-ROCH-DE-L'ACHIGAN	62480-1	1776	680	BA	P			85.10
SAINT-ROMAIN	24420-1	466	166	ENA	P			91.09
SAINT-SIMON	40280-1	237	358	EA	P			87.02
SAINT-THARCISIUS	05520-1	300	150	ENA				86.07
SAINT-THEOPHILE	23180-1	300	128	FS				85.05
SAINT-URBAIN	12400-1	1130	742	EA				90.10
SAINT-VALERIEN-DE-MILTON	39780-1	482	595	EA	P			90.12
SAINT-VIANNEY	05540-1	366	419	ENA			F	91.09
SAINT-WENCESLAS	33400-1	506	224	ENA	P			91.08
SAINTE-ADELE	63510-1	400	145	EA				89.12
SAINTE-AGATHE-DES-MONTS	63610-1	7000	8410	BA	P	UV	F	86.11
SAINTE-ANGELE-DE-MONNOIR	52320-1	500	526	EA				83.10
SAINTE-AURELIE	23110-1	2154	1361	EA				82.10
SAINTE-BEATRIX	58550-1	250	114	FS				84.10
SAINTE-BRIGITTE-DE-LAVAL	17460-1	1200	712	EA				91.10
SAINTE-CATHERINE-DE-HATLEY	37700-1	205	80	FS				85.06
SAINTE-CATHERINE-J-CARTIER	29130-1	1597	841	EA				86.09
SAINTE-CATHERINE-J-CARTIER-1	29130-2	100	50	FS				86.09

Municipalité	No	Popul.	m3/j	Traitem.	Dephosph.	Desinfect.	Filtration	Mise en opér.
SAINTE-EMELIE-DE-L'ENERGIE	58640-1	620	295	FS				86.06
SAINTE-EULALIE	33470-1	450	265	ENA				86.08
SAINTE-HEDWIDGE	90180-1	714	505	EA				88.01
SAINTE-HELENE	10440-1	950	359	EA	P			85.11
SAINTE-HELENE-DE-BAGOT	40600-1	1000	380	BD	P			85.10
SAINTE-HENEDINE	22450-1	626	733	EA	P			89.12
SAINTE-JULIE	57280-1	16500	5700	EA	P			84.12
SAINTE-JULIENNE	61400-1	1050	672	EA	P			85.11
SAINTE-LUCIE-DES-LAURENTIDES	63590-1	600	618	EA				86.12
SAINTE-MADELEINE	51260-1	1366	511	BA				85.08
SAINTE-MARGUERITE	22390-1	394	288	ENA				89.06
SAINTE-MARIE	23680-1	7500	8750	EA	P			86.03
SAINTE-MARTINE	69360-1	2184	878	EA	P			91.10
SAINTE-MELANIE	58370-1	600	193	ENA				85.10
SAINTE-SOPHIE	63280-1	720	473	EA				85.12
SAINTE-THÉRÈSE-DE-BLAINVILLE	0006	39000	31000	BF				92.12
SALABERRY-DE-VALLEYFIELD	70670-1	37784	52447	BA				87.09
SAWYERVILLE	25500-1	880	634	EA	P			90.06
SAYABEC	05610-1	1710	1694	EA	P			89.12
SHENLEY	23230-1	1068	935	EA	P			86.12
SHERBROOKE	36350-1	85000	81874	BF	P			91.06
SOREL	50730-1	43170	41500	EA	P			90.06
STANSTEAD (FITCBAY)	37480-1	121	61	FS				80.08
STANSTEAD (FITCBAY)	37480-3	122	50	EA	P			92.10
STANSTEAD (GEORGEVILLE)	37480-2	300	114	FS				80.08
STANSTEAD-PLAIN	37420-1	1140	765	EA	P			85.12
STOKE	35140-1	155	38	FS				86.12
STONEHAM	20560-1	3780	1633	EA	P			90.07
STORNOWAY	24450-1	284	123	ENA	P			91.07
STRATFORD	26150-1	410	205	EA	P			86.11

Municipalité	No	Popul.	m3/j	Traitem.	Dephosph.	Désinfect.	Filtration	Mise en opér.
THEDFORD-MINES	27220-1	30475	19700	BA	P			86.10
TOURVILLE	13500-1	800	292	EA	P			86.11
TREMBLAY (CANTON)	94500-1	223	290	EA				88.03
TRING-JONCTION	23530-1	1250	1205	EA	P			86.09
UPTON	40360-1	856	387	BD				84.12
VAL-D'OR	84180-1	23400	15887	BA				85.11
VAL-DAVID (VAL-MORIN)	63530-2	4500	1640	EA				81.06
VAL-MORIN	63530-1	105	23	FS				80.10
VALCOURT	39600-1	3945	2174	EA	P			85.06
VARENNES	57320-1	10970	8515	EA	P			87.01
VAUDREUIL	72260-1	14800	11000	BA				88.09
VERCHERES	57520-1	3600	4900	EA	P			90.06
VICTORIAVILLE	34440-1	34125	28852	BA	P		F	86.01
VILLE-MARIE	75700-1	2586	2258	EA				87.09
WARDEN	39180-1	120	69	FS				86.01
WARWICK	34280-1	3257	3516	EA	P			88.12
WATERLOO	39160-1	4897	6919	EA	P			85.09
WATERVILLE	25440-1	1330	1158	EA	P			85.12
WEEDON-CENTRE	26380-1	1230	1128	EA	P			85.11
WINDSOR	35480-1	4814	5220	EA	P			90.07

Appendice B

**Performances épuratoires des stations d'épuration des
eaux usées municipales du Québec**

Appendice B
Performances épuratoires des stations d'épuration des eaux usées municipales du Québec
 Source: Ministère de l'Environnement et de la Faune (1993)

Municipalité	No	Popul.	DBO_Aff (kg/d)	DBO_Eff (kg/d)	MES_Aff (kg/d)	MES_Eff (kg/d)	PT_Aff (kg/d)	PT_Eff (kg/d)
ACTON-VALE	40400-1	4300	2088.0	312.0	683.0	0.0	60.5	41.0
ALMA-1	93480-1	22216			0.0	0.0	0.0	0.0
ALMA-2	93480-2	48			0.0	0.0	0.0	0.0
ALMA-3	93480-3	2986	104.0	17.0	132.0	0.0	0.0	0.0
AMQUI	05430-1	5430	491.0	33.0	519.0	0.0	12.4	1.0
ASBESTOS	35700-1	10225	383.0	40.0	384.0	34.0	12.1	2.3
ASCOT-CORNER	36250-1	650	22.0	4.0	31.0	4.0	0.0	0.0
AUDET	24190-1	280			0.0	0.0	0.0	0.0
AYER'S-CLIFF	37600-1	3452	53.0	6.0	62.0	8.0	2.1	0.6
BAIE-COMEAU-2	97345-2	13739	707.0	101.0	918.0	0.0	24.5	0.0
BAIE-SAINT-PAUL	12350-1	4587	351.0	47.0	356.0	0.0	9.7	2.9
BEAUCEVILLE	23380-1	5000	251.0	20.0	307.0	37.0	7.7	2.9
BEAUHARNOIS	70180-1	9822	450.0	55.0	584.0	97.0	0.0	0.0
BEAULAC	26200-1	470	26.0	5.0	27.0	0.0	0.7	0.3
BEEBE-PLAIN	37440-1	1094	18.0	1.0	27.0	0.0	0.7	0.2
BERNIERVILLE	27350-1	1460	116.0	13.0	59.0	0.0	3.7	0.9
BOISBRIAND	63110-1	14400	1519.0	130.0	1549.0	93.0	43.5	13.2
BONSECOURS	39450-1	161			0.0	0.0	0.0	0.0
BOUCHETTE	78430-1	300			0.0	0.0	0.0	0.0
BROMONT	38780-1	4000	338.0	64.0	418.0	0.0	16.9	4.4
BROMPTONVILLE	35170-1	2858	98.0	19.0	105.0	0.0	6.9	3.0
BURY	25710-1	485			0.0	0.0	0.0	0.0
CAMPBELL'S-BAY	80260-1	1180	39.0	15.0	49.0	12.0	1.5	0.0
CAP-AUX-MEULES	01300-1	1595	189.0	29.0	200.0	0.0	4.8	0.0
CHAMBLY	56120-1	18412	1513.0	125.0	3047.0	0.0	46.0	8.5
CHAMBORD	90160-1	1410	62.0	13.0	75.0	0.0	0.0	0.0

Municipalité	No	Popul.	DBO_Aff (kg/d)	DBO_Eff (kg/d)	MES_Aff (kg/d)	MES_Eff (kg/d)	PT_Aff (kg/d)	PT_Eff (kg/d)
CHAPEAU	80350-1	455	18.0		24.0	0.0	0.0	0.0
CHATEAUGUAY	69600-1	38000	2958.0	359.0	3192.0	440.0	103.0	35.6
CHERTSEY	61450-1	300			0.0	0.0	0.0	0.0
CHIBOUGAMAU	98200-1	11595	367.0	111.0	513.0	0.0	0.0	0.0
CHICOUTIMI	94300-2	542	22.0	3.0	33.0	0.0	0.6	0.3
CLERMONT	11480-1	3852	180.0	14.0	300.0	0.0	5.8	1.6
COATICOOK	37280-1	6540	297.0	30.0	324.0	0.0	12.5	4.6
COMPTON	25380-1	532	26.0	5.0	27.0	0.0	1.8	0.4
CONTRECOEUR	57780-1	3486	107.0	30.0	343.0	0.0	10.1	3.2
COOKSHIRE	25520-1	1323	177.0	34.0	145.0	0.0	2.7	2.6
COWANSVILLE	54480-1	14000	1283.0	174.0	1106.0	430.0	60.8	28.6
CRABTREE	58150-1	1950	7093.0	462.0	2252.0	1359.0	12.6	65.7
CUM	00065-1	1200000	132454.0	63144.0	151000.0	29030.0	2870.0	711.0
CUO	00075-1	230000	13680.0	1150.0	16982.0	1245.0	466.0	90.8
CUQ (EST)	00020-1	270000	29711.0	4840.0				
CUQ (OUEST)	00020-2	237000	16063.0	4429.0				
DANVILLE	35720-1	2903	89.0	8.0	137.0	0.0	4.2	1.0
DEAUVILLE	36400-1	3450	119.0	8.0	244.0	0.0	6.3	0.8
DEGELIS	09150-1	3000	129.0	21.0	122.0	0.0	0.0	0.0
DELISLE	93530-1	1349	111.0	16.0	154.0	0.0	0.0	0.0
DESBIENS	90160-2	1425	889.0	47.0	690.0	0.0	41.7	7.6
DISRAELI	26600-1	3500	94.0	30.0	94.0	0.0	3.5	1.9
DOLBEAU	90290-1	7445	346.0	54.0	431.0	0.0	0.0	0.0
DONNACONA	29280-1	6240	343.0	33.0	452.0	0.0	0.0	0.0
DUNHAM	54450-1	1775	25.0	2.0	41.0	0.0	1.2	0.2
EAST-BROUGHTON	23460-1	2557	125.0	24.0	122.0	0.0	4.1	1.5
FARNHAM	54750-1	6500	1204.0	77.0	1484.0	168.0	32.0	4.9
FOSSAMBAULT-SUR-LE-LAC	29140-1	850	41.0	11.0	30.0	0.0	0.0	0.0
FOSSAMBAULT-SUR-LE-LAC-1	29140-2	250			0.0	0.0	0.0	0.0

Municipalité	No	Popul.	DBO_Aff (kg/d)	DBO_Eff (kg/d)	MES_Aff (kg/d)	MES_Eff (kg/d)	PT_Aff (kg/d)	PT_Eff (kg/d)
FRONTENAC	24210-1	350			0.0	0.0	0.0	0.0
FRONTENAC (MERCIER)	24210-2	160			0.0	0.0	0.0	0.0
GASPE	0003	9400						
GRANBY	39240-1	38500	6316.0	837.0	5540.0	1279.0	176.0	77.0
GRAND-MERE	32550-1	19313	1152.0	96.0	1145.0	0.0	0.0	0.0
HAM-NORD	26690-1	500	21.0		10.0	0.0	1.2	0.0
HENRYVILLE	53200-1	917	48.0	15.0	47.0	13.0	1.5	1.0
HEROUXVILLE	32510-1	760	35.0	9.0	32.0	0.0	1.2	0.7
ILE-PERROT	72150-1	7700						
JOLIETTE	0004	17976						
JONQUIERE	94420-1	60000	5042.0	209.0	6109.0	225.0	76.1	0.0
L'ANNONCIATION	76520-1	1630	154.0	32.0	124.0	0.0	4.7	3.3
L'ASCENSION	76580-1	460			0.0	0.0	0.0	0.0
L'ASSOMPTION	62420-1	8600	479.0	92.0	512.0	0.0	18.3	16.6
L'EPIPHANIE	62360-1	3026	163.0	17.0	243.0	0.0	4.3	1.3
LA BAIE	94190-1	18828	926.0	41.0	1153.0	90.0	23.7	0.0
LA CONCEPTION	76120-1	80			0.0	0.0	0.0	0.0
LA GUADELOUPE	24650-1	1531	166.0	23.0	92.0	0.0	2.3	0.5
LA PLAINE	62510-1	400	47.0	12.0	38.0	0.0	1.3	1.3
LA POCATIERE	10760-1	5994			0.0	0.0	0.0	0.0
LA PRAIRIE	66500-1	45735			0.0	0.0	0.0	0.0
LA TUQUE	32660-1	12816			0.0	0.0	0.0	0.0
LAC-A-LA-CROIX	93240-1	525	25.0	3.0	32.0	0.0	0.9	0.4
LAC-BROME	38500-1	2400	324.0	47.0	254.0	0.0	10.5	1.8
LAC-BROME-1	38500-2	118			0.0	0.0	0.0	0.0
LAC-CARRE	63670-1	1200			0.0	0.0	0.0	0.0
LAC-DELAGE	20490-1	987	25.0	1.0	20.0	0.0	0.9	0.3
LAC-ETCHEMIN	22230-1	3500	256.0	45.0	254.0	0.0	7.5	3.3
LAC-MEGANTIC	24200-1	8400	951.0	39.0	883.0	48.0	0.0	11.4

Municipalité	No	Popul.	DBO_Aff (kg/d)	DBO_Eff (kg/d)	MES_Aff (kg/d)	MES_Eff (kg/d)	PT_Aff (kg/d)	PT_Eff (kg/d)
LACOLLE	55120-1	1760	73.0	19.0	84.0	0.0	3.3	1.7
LAROCHE	94440-1	673	21.0	5.0	22.0	0.0	0.0	0.0
LATERRIERE	94230-1	866			0.0	0.0	0.0	0.0
LAUNAY	84420-1	161			0.0	0.0	0.0	0.0
LAURENTIDES	62700-1	2150	344.0	35.0	277.0	0.0	6.6	3.5
LAURIER-STATION	28440-1	2470			0.0	0.0	0.0	0.0
LAVAL (FABREVILLE)	64500-1	35000	1493.0	653.0	1926.0	674.0	75.0	26.5
LAVAL (SAINTE-ROSE-AUTEUIL)	64500-2	26466						
LAWRENCEVILLE	39400-1	352	22.0	2.0	27.0	0.0	0.8	0.8
LE BIC	07660-1	2100	97.0	17.0	98.0	0.0	0.0	0.0
LEVIS	21480-1	42960	4086.0	335.0	5076.0	0.0	0.0	0.0
LORRAINE	0005	12500						
LOTBINIERE	28660-1	450			0.0	0.0	0.0	0.0
LUCEVILLE	07530-1	1460	75.0	15.0	90.0	0.0	0.0	0.0
LYSTER	27510-1	1980	58.0	5.0	59.0	0.0	1.8	0.5
MAGOG	37720-1	14580	2307.0	111.0	1509.0	57.0	80.1	6.0
MARIEVILLE	52400-1	6000	1385.0	20.0	905.0	38.0	27.2	2.3
MARSOUI	03550-1	500	33.0	7.0	31.0	0.0	0.0	0.0
MARTINVILLE	25360-1	292			0.0	0.0	0.0	0.0
MASSUEVILLE	50180-1	742	47.0	3.0	22.0	0.0	1.4	0.2
MATANE	06600-1	13400	1475.0	166.0	1227.0	0.0	26.9	0.0
MELOCHEVILLE	70460-1	1980	101.0	11.0	109.0	0.0	0.0	0.0
METABETCHOUAN	93320-1	2395	178.0	28.0	177.0	0.0	0.0	0.0
MISTASSINI	90275-1	5921	217.0	51.0	224.0	0.0	8.2	0.0
MONT-CARMEL	10370-1	1200	50.0	5.0	55.0	0.0	1.1	0.3
MONT-LAURIER	76650-1	8700	821.0	92.0	788.0	0.0	26.7	7.0
MONT-ROLLAND	63450-1	6070	423.0	61.0	362.0	27.0	13.6	2.9
MONT-ROLLAND (MONT-GABRIEL)	63450-2	80	10.0	1.0	12.0	0.0	0.0	0.0
MONT-SAINT-GREGOIRE	53550-1	880	21.0	2.0	16.0	1.0	0.9	0.4

Municipalité	No	Popul.	DBO_Aff (kg/d)	DBO_Eff (kg/d)	MES_Aff (kg/d)	MES_Eff (kg/d)	PT_Aff (kg/d)	PT_Eff (kg/d)
MONT-TREMBLANT	63780-2	1300	42.0	7.0	43.0	0.0	0.0	0.0
MONT-TREMBLANT-1	63780-1	1750	49.0	2.0	39.0	2.0	1.3	0.0
MONT-TREMBLANT-2	63780-3	255			0.0	0.0	0.0	0.0
MONTMAGNY	14550-1	10760	635.0	37.0	886.0	0.0	24.5	0.0
NANTES	24320-1	290			0.0	0.0	0.0	0.0
NEW-RICHMOND	04360-1	2700	178.0	16.0	164.0	0.0	0.0	0.0
NORTH-HATLEY	37650-1	1173	36.0	6.0	53.0	0.0	1.8	0.6
NOTRE-DAME-DE-L'ILE-PERROT	72130-1	3379	138.0		119.0	0.0	12.0	1.9
NOTRE-DAME-DES-MONTS	11580-1	608			0.0	0.0	0.0	0.0
NOTRE-DAME-DES-PINS	23370-1	501	57.0	10.0	39.0	6.0	2.0	0.4
NOTRE-DAME-DU-LAC	09370-1	2060	280.0	34.0	209.0	48.0	5.5	2.0
NOTRE-DAME-DU-NORD	83500-1	1428	65.0		100.0	0.0	0.0	0.0
OMERVILLE	37740-1	1334	75.0	14.0	73.0	0.0	2.9	2.6
PAPINEAUVILLE	75240-1	1900	81.0	10.0	104.0	0.0	0.0	0.0
PERCE	02150-1	425	96.0	7.0	118.0	8.0	0.0	0.0
PINCOURT	72180-1	13545	757.0	74.0	696.0	94.0	18.5	6.2
PLAISANCE	75280-1	985	77.0	5.0	88.0	0.0	2.0	0.4
PLESSISVILLE	27750-1	8000	730.0	50.0	747.0	0.0	13.5	4.2
POHENEGAMOOK	10140-1	2630	105.0	17.0	104.0	0.0	2.9	0.0
POINTE-DU-LAC	43200-1	3060	147.0	12.0	137.0	0.0	0.0	0.0
PONT-ROUGE	29200-1	3200	187.0	48.0	172.0	0.0	0.0	0.0
PREVOST	63400-1	6375	156.0	30.0	163.0	0.0	5.4	1.6
PRINCEVILLE	34470-1	4175	1604.0	162.0	1035.0	0.0	156.0	16.9
RAWDON	61360-1	2272	127.0		109.0	0.0	0.0	0.0
RICHMOND	35640-1	4470	146.0	14.0	191.0	0.0	4.5	1.5
RIGAUD	72680-1	4100	268.0	43.0	231.0	0.0	7.8	3.3
RIMOUSKI	07570-1	30200	2577.0	362.0	2316.0	0.0	0.0	0.0
RISBOROUGH-ET-PARTIE-DE-MA	24170-1	710	127.0	11.0	77.0	0.0	3.6	1.0
ROBERVAL	90170-1	10200	489.0	86.0	841.0	0.0	20.0	0.0

Municipalité	No	Popul.	DBO_Aff (kg/d)	DBO_Eff (kg/d)	MES_Aff (kg/d)	MES_Eff (kg/d)	PT_Aff (kg/d)	PT_Eff (kg/d)
ROCK-FOREST	36500-1	2920	252.0	55.0	298.0	45.0	6.8	1.8
ROCK-ISLAND	37380-1	2100	73.0	5.0	99.0	11.0	1.6	0.6
ROSEMÈRE	0007	8700						
ROXTON-FALLS	39730-1	1474	29.0	5.0	26.0	0.0	1.4	1.2
ROXTON-POND	39340-1	790	59.0	6.0	40.0	0.0	1.7	0.3
SAINT-ADOLPHE-D'HOWARD	74660-1	1522	39.0	2.0	61.0	3.0	1.2	0.1
SAINT-ADRIEN	26710-1	502	20.0	1.0	20.0	0.0	0.0	0.0
SAINT-AIME-DES-LACS	11500-1	388	22.0	3.0	43.0	0.0	0.0	0.0
SAINT-ALEXANDRE	53450-1	1094	28.0	2.0	31.0	0.0	1.1	0.4
SAINT-ALPHONSE	39260-1	70			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINT-ANACLET	07550-1	1509	108.0	11.0	160.0	0.0	2.5	0.7
SAINT-APOLLINAIRE	28490-1	1463	101.0	26.0	105.0	0.0	3.0	1.5
SAINT-AUBERT	13680-1	618	22.0	2.0	17.0	0.0	0.7	0.2
SAINT-BASILE-SUD	29320-1	1450	62.0	14.0	71.0	0.0	1.7	1.1
SAINT-BERNARD	22750-1	700	72.0	4.0	40.0	6.0	2.2	0.4
SAINT-CALIXTE	61420-1	830	30.0	15.0	21.0	0.0	1.1	0.9
SAINT-CELESTIN (ANNAVILLE)	33360-1	761			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINT-CHARLES	15600-1	1450			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINT-COME-DE-KENNEBEC	23170-1	2079	95.0	18.0	64.0	0.0	2.6	0.5
SAINT-CYRILLE-DE-WENDOVER	41660-1	1200	61.0	11.0	55.0	0.0	2.7	1.0
SAINT-DAMASE	51120-1	1130	712.0	10.0	236.0	0.0	11.2	1.4
SAINT-DENIS-BROMPTON (VILLAG	35220-2	388	15.0	1.0	13.0	0.0	0.6	0.2
SAINT-DENIS-BROMPTON(MONTJ	35220-1	385	12.0	1.0	11.0	0.0	0.5	0.3
SAINT-DONAT	61530-1	2200			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINT-EDOUARD-DE-FABRE	83300-1	375			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINT-ELIE-D'ORFORD	36600-1	1500	91.0	14.0	115.0	0.0	4.5	1.1
SAINT-ELZEAR	23700-1	1034	58.0	7.0	57.0	0.0	1.6	0.3
SAINT-EPHREM-DE-BEAUCE	23270-1	1090	108.0	15.0	56.0	0.0	2.2	1.0
SAINT-ESPRIT	61200-1	1200	28.0	10.0	16.0	0.0	1.5	0.9

Municipalité	No	Popul.	DBO_Aff (kg/d)	DBO_Eff (kg/d)	MES_Aff (kg/d)	MES_Eff (kg/d)	PT_Aff (kg/d)	PT_Eff (kg/d)
SAINT-ETIENNE-DE-LAUZON	21220-1	4125	398.0	45.0	342.0	0.0	10.9	2.7
SAINT-ETIENNE-DES-GRES	43400-1	1503	74.0	9.0	64.0	0.0	0.0	0.0
SAINT-EUSTACHE	0002	32000						
SAINT-FABIEN-DE-PANET	14240-1	1100	29.0	2.0	19.0	0.0	0.8	0.2
SAINT-FELICIEN	90350-1	9750	493.0	76.0	507.0	0.0	0.0	0.0
SAINT-FRANCOIS-DE-SALES	90150-1	692	42.0	6.0	55.0	0.0	0.0	0.0
SAINT-GABRIEL	49400-1	4400	133.0	14.0	170.0	19.0	5.0	1.5
SAINT-GABRIEL-LALEMENT	10330-1	580	23.0	1.0	20.0	0.0	0.8	0.1
SAINT-GEDEON	24130-1	1500	141.0	33.0	121.0	0.0	4.4	0.0
SAINT-GEDEON-1	93360-1	1200	54.0	8.0	105.0	0.0	0.0	0.0
SAINT-GEORGES (AUBERT-GALLI	23320-1	16595	2526.0	219.0	2830.0	220.0	73.7	6.6
SAINT-GERARD	26350-1	384	19.0	3.0	20.0	0.0	0.4	0.3
SAINT-GERMAIN-DE-GRANTHAM	41730-1	1768	177.0	8.0	188.0	0.0	4.6	0.9
SAINT-GUILLAUME	42300-1	926	154.0	5.0	138.0	0.0	8.1	0.6
SAINT-GUILLAUME-DE-GRANADA	83670-1	1100	24.0	3.0	15.0	0.0	0.0	0.0
SAINT-HILARION	12300-1	610	35.0	3.0	23.0	0.0	0.0	0.2
SAINT-HONORE	94510-1	2167	67.0	16.0	90.0	0.0	2.4	1.1
SAINT-HUGUES	40750-1	431	15.0	2.0	18.0	1.0	0.9	0.1
SAINT-HYACINTHE	51460-1	51520	5527.0	404.0	5652.0	510.0	109.0	10.6
SAINT-JACQUES	61280-1	2325	241.0	19.0	272.0	9.0	8.9	0.9
SAINT-JEAN-BAPTISTE	52600-1	1425	252.0	22.0	154.0	41.0	7.4	2.1
SAINT-JEAN-CHRYSOSTOME	21300-1	12440	537.0	40.0	772.0	0.0	21.6	3.7
SAINT-JEAN-DE-LA-LANDE	23300-1	300			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINT-JEAN-DE-MATHA	58510-1	1292	29.0	9.0	31.0	0.0	0.9	0.5
SAINT-JEAN-DES-PILES	32560-1	424			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINT-JOSEPH-DE-BEAUCE	23600-1	4900	691.0	43.0	353.0	0.0	12.4	2.6
SAINT-JOSEPH-DE-COLERAINE	27210-1	1500	60.0	14.0	60.0	0.0	2.3	0.9
SAINT-JOVITE	63740-1	4300	295.0	58.0	290.0	75.0	10.1	3.9
SAINT-LAZARE	15340-1	580	25.0	6.0	26.0	0.0	0.8	0.2

Municipalité	No	Popul.	DBO Aff (kg/d)	DBO Eff (kg/d)	MES Aff (kg/d)	MES Eff (kg/d)	PT Aff (kg/d)	PT Eff (kg/d)
SAINT-LEON-DE-STANDON	22290-1	1600	44.0	5.0	48.0	0.0	0.0	0.2
SAINT-LIBOIRE	40300-1	935	40.0	3.0	33.0	0.0	1.2	0.5
SAINT-LOUIS-DE-FRANCE	32310-1	4000	157.0		181.0	0.0	52.0	0.0
SAINT-LUC	06560-1	500	26.0	5.0	31.0	0.0	1.1	0.0
SAINT-LUC (DIJON)	22270-1	374			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINT-MALACHIE	22340-1	836	30.0	3.0	28.0	0.0	0.9	0.3
SAINT-MARTIN	23220-1	1545	74.0	7.0	97.0	0.0	2.5	0.4
SAINT-MATHIEU	84435-1	204			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINT-MAURICE	32330-1	1000	48.0	9.0	38.0	0.0	1.2	0.0
SAINT-METHODE-DE-FRONTENAC	24770-1	1250			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINT-MICHEL-DES-SAINTS	49600-1	2100	63.0	9.0	51.0	0.0	1.7	0.0
SAINT-ODILON-DE-CRANBOURNE	22210-1	954	45.0	4.0	49.0	0.0	1.5	0.2
SAINT-PASCAL	10420-1	3000	135.0	24.0	121.0	0.0	3.6	1.8
SAINT-PIE	40120-1	1890	75.0	16.0	87.0	0.0	2.8	0.7
SAINT-PLACIDE	73500-1	330	12.0	8.0	15.0	9.0	0.0	0.0
SAINT-PRIME	90190-1	1220	55.0	13.0	46.0	0.0	4.6	0.0
SAINT-PROSPER	22180-1	2427	157.0	12.0	184.0	0.0	4.6	2.1
SAINT-RAPHAEL	15510-1	1364	52.0	11.0	54.0	0.0	1.8	0.4
SAINT-ROBERT-BELLARMIN	24110-1	347			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINT-ROCH-DE-L'ACHIGAN	62480-1	1776	82.0	11.0	91.0	14.0	3.2	0.8
SAINT-ROMAIN	24420-1	466			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINT-SIMON	40280-1	237	68.0	4.0	55.0	0.0	2.1	0.2
SAINT-THARCISIUS	05520-1	300			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINT-THEOPHILE	23180-1	300			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINT-URBAIN	12400-1	1130	39.0	7.0	41.0	0.0	0.0	0.0
SAINT-VALERIEN-DE-MILTON	39780-1	482	332.0	11.0	174.0	0.0	3.3	0.7
SAINT-VIANNEY	05540-1	366			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINT-WENCESLAS	33400-1	506			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINTE-ADELE	63510-1	400			5.0	0.0	0.0	0.4

Municipalité	No	Popul.	DBO_Aff (kg/d)	DBO_Eff (kg/d)	MES_Aff (kg/d)	MES_Eff (kg/d)	PT_Aff (kg/d)	PT_Eff (kg/d)
SAINTE-AGATHE-DES-MONTS	63610-1	7000	710.0	137.0	1112.0	141.0	20.2	7.8
SAINTE-ANGELE-DE-MONNOIR	52320-1	500	23.0	3.0	18.0	0.0	0.0	0.0
SAINTE-AURELIE	23110-1	2154	86.0	5.0	86.0	0.0	3.2	0.0
SAINTE-BEATRIX	58550-1	250			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINTE-BRIGITTE-DE-LAVAL	17460-1	1200			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINTE-CATHERINE-DE-HATLEY	37700-1	205			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINTE-CATHERINE-J-CARTIER	29130-1	1597	99.0	17.0	129.0	0.0	0.0	0.0
SAINTE-CATHERINE-J-CARTIER-1	29130-2	100			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINTE-EMELIE-DE-L'ENERGIE	58640-1	620			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINTE-EULALIE	33470-1	450			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINTE-HEDWIDGE	90180-1	714	27.0	5.0	34.0	0.0	0.0	0.0
SAINTE-HELENE	10440-1	950	36.0	3.0	34.0	0.0	1.1	0.2
SAINTE-HELENE-DE-BAGOT	40600-1	1000	63.0	3.0	23.0	4.0	3.0	0.2
SAINTE-HENEDINE	22450-1	626	36.0	3.0	31.0	0.0	1.0	0.3
SAINTE-JULIE	57280-1	16500	774.0	169.0	690.0	0.0	38.8	16.9
SAINTE-JULIENNE	61400-1	1050	31.0	4.0	31.0	0.0	1.1	0.3
SAINTE-LUCIE-DES-LAURENTIDES	63590-1	600	18.0	5.0	13.0	0.0	0.0	0.0
SAINTE-MADELEINE	51260-1	1366			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINTE-MARGUERITE	22390-1	394			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINTE-MARIE	23680-1	7500	1703.0	146.0	1613.0	0.0	14.8	4.7
SAINTE-MARTINE	69360-1	2184			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINTE-MELANIE	58370-1	600			0.0	0.0	0.0	0.0
SAINTE-SOPHIE	63280-1	720	46.0	8.0	46.0	0.0	1.5	0.0
SAINTE-THÉRÈSE-DE-BLAINVILLE	0006	39000						
SALABERRY-DE-VALLEYFIELD	70670-1	37784	1937.0	157.0	2611.0	400.0	51.7	17.4
SAWYERVILLE	25500-1	880	30.0	4.0	46.0	0.0	0.9	0.4
SAYABEC	05610-1	1710	94.0	17.0	89.0	0.0	2.5	1.5
SHENLEY	23230-1	1068			0.0	0.0	0.0	0.0
SHERBROOKE	36350-1	85000	7432.0	1097.0	11001.0	899.0	262.0	49.6

Municipalité	No	Popul.	DBO_Aff (kg/d)	DBO_Eff (kg/d)	MES_Aff (kg/d)	MES_Eff (kg/d)	PT_Aff (kg/d)	PT_Eff (kg/d)
SOREL	50730-1	43170	2847.0	280.0	3466.0	0.0	87.0	29.9
STANSTEAD (FITCBAY)	37480-1	121			0.0	0.0	0.0	0.0
STANSTEAD (FITCBAY)	37480-3	122			0.0	0.0	0.0	0.0
STANSTEAD (GEORGEVILLE)	37480-2	300			0.0	0.0	0.0	0.0
STANSTEAD-PLAIN	37420-1	1140	45.0	3.0	63.0	0.0	2.1	0.6
STOKE	35140-1	155			0.0	0.0	0.0	0.0
STONEHAM	20560-1	3780	36.0	1.0	27.0	0.0	1.5	0.1
STORNOWAY	24450-1	284			0.0	0.0	0.0	0.0
STRATFORD	26150-1	410	28.0	5.0	26.0	0.0	0.7	0.2
THEDFORD-MINES	27220-1	30475	1540.0		1881.0	0.0	44.9	0.0
TOURVILLE	13500-1	800	26.0	4.0	18.0	0.0	0.7	0.2
TREMBLAY (CANTON)	94500-1	223	9.0	3.0	11.0	0.0	0.0	0.0
TRING-JONCTION	23530-1	1250	57.0	9.0	73.0	0.0	1.8	0.5
UPTON	40360-1	856			0.0	0.0	0.0	0.0
VAL-D'OR	84180-1	23400	1327.0	62.0	1686.0	40.0	0.0	0.0
VAL-DAVID (VAL-MORIN)	63530-2	4500	314.0	58.0	202.0	0.0	0.0	0.0
VAL-MORIN	63530-1	105			0.0	0.0	0.0	0.0
VALCOURT	39600-1	3945	85.0	17.0	135.0	0.0	5.0	2.8
VARENNES	57320-1	10970	763.0	99.0	991.0	0.0	34.5	6.9
VAUDREUIL	72260-1	14800	1519.0	152.0	1724.0	66.0	79.4	0.0
VERCHERES	57520-1	3600	130.0	10.0	165.0	0.0	9.3	1.9
VICTORIAVILLE	34440-1	34125	2950.0	135.0	3001.0	63.0	110.0	9.7
VILLE-MARIE	75700-1	2586	96.0	27.0	145.0	0.0	4.5	0.0
WARDEN	39180-1	120			0.0	0.0	0.0	0.0
WARWICK	34280-1	3257	504.0	37.0	507.0	0.0	8.2	3.0
WATERLOO	39160-1	4897	202.0	27.0	183.0	0.0	8.7	5.3
WATERVILLE	25440-1	1330	110.0	6.0	87.0	0.0	23.4	0.6
WEEDON-CENTRE	26380-1	1230	39.0	10.0	50.0	0.0	2.3	0.9
WINDSOR	35480-1	4814	320.0	29.0	475.0	0.0	7.2	1.2

Appendice C

**Analyses de l'efficacité énergétique électrique des
stations d'épuration des eaux usées municipales du
Québec**

Appendice C
Analyses de l'efficacité énergétique électrique des stations d'épuration des eaux usées municipales du Québec
 Source: Ministère de l'Environnement et de la Faune (1993)

Municipalité	No	No abonné	Populat.	DH (m3/j)	CE (kWh/j)	EEH (kWh/m3)	DBO Elev. (kg/d)	EEE (kWh/kg)	PA moy (kW)
--------------	----	-----------	----------	--------------	---------------	-----------------	---------------------	-----------------	----------------

Type de traitement: **Boues activées**

ASBESTOS	35700-1	490664104133	10225	6000	6380	1.06	343.00	18.60	416.54
AYER'S-CLIFF	37600-1	381275113904	3452	951	993	1.04	47.00	21.13	54.73
SAINT-ROCH-DE-L'ACHIGAN	62480-1	552666136007	1776	680	664	0.98	71.00	9.35	50.64
MARIEVILLE	52400-1	361116022407	6000	5000	4712	0.94	1365.00	3.45	279.52
NOTRE-DAME-DU-LAC	09370-1	842313104007	2060	1257	1158	0.92	246.00	4.71	66.78
SAINT-JOVITE	63740-1	530121000117	4300	2915	2567	0.88	237.00	10.83	146.54
SAINTE-MADELEINE	51260-1	390623106908	1366	511	436	0.85			30.73
SAINT-CHARLES	15600-1	460573106214	1450	1158	932	0.80			61.65
SAINT-JACQUES	61280-1	552519668511	2325	1394	1086	0.78	222.00	4.89	92.06
LAC-MEGANTIC	24200-1	481031103502	8400	5680	4291	0.76	912.00	4.71	268.86
SAINT-BERNARD	22750-1	461875108908	700	681	476	0.70	68.00	7.00	36.85
SAINT-GABRIEL	49400-1	553458134309	4400	2086	1455	0.70	119.00	12.22	94.51
PINCOURT	72180-1	313243324214	13545	7878	4540	0.58	683.00	6.65	265.34
SAINTE-AGATHE-DES-MONTS	63610-1	530253005108	7000	8410	3998	0.48	573.00	6.98	239.26
VAUDREUIL	72260-1	311244254513	14800	11000	5151	0.47	1367.00	3.77	317.96
ROCK-ISLAND	37380-1	381374106601	2100	1515	707	0.47	68.00	10.40	38.14
BEAUCEVILLE	23380-1	490465105701	5000	4415	2051	0.46	231.00	8.88	109.41
LA BAIE	94190-1	911122103136	18828	12460	5505	0.44	885.00	6.22	301.29
GRANBY	39240-1	371872101501	38500	50000	21979	0.44	5479.00	4.01	1456.46
VAL-D'OR	84180-1	722816284607	23400	15887	6493	0.41	1265.00	5.13	354.51
VICTORIAVILLE	34440-1	694089107510	34125	28852	10260	0.36	2815.00	3.64	554.95
SAINT-HYACINTHE	51460-1	390824106103	51520	45000	13662	0.30	5123.00	2.67	735.94
BEAUHARNOIS	70180-1	351282103107	9822	6613	1975	0.30	395.00	5.00	119.37

Municipalité	No	No abonné	Populat.	DH (m3/j)	CE (kWh/j)	EEH (kWh/m3)	DBO Enlev. (kg/d)	EEE (kWh/kg)	PA moy (kW)
SALABERRY-DE-VALLEYFIELD	70670-1	351987014005	37784	52447	15081	0.29	1780.00	8.47	717.43
MONT-ROLLAND	63450-1	531051022907	6070	6600	1863	0.28	362.00	5.15	99.02
FARNHAM	54750-1	361213026103	6500	10750	2876	0.27	1127.00	2.55	159.02
THEDFORD-MINES	27220-1	482234105617	30475	19700	5201	0.26			356.98
CUO	00075-1	561501007000	230000	136275	29453	0.22	12530.00	2.35	1868.96
JONQUIERE	94420-1	911025056100	60000	42325	8707	0.21	4833.00	1.80	429.50
COWANSVILLE	54480-1	371570200720	14000	16800	3046	0.18	1109.00	2.75	173.42

Type de traitement: Biodisques									
PERCE	02150-1	823374112006	425	1146	1775	1.55	89.00	19.95	110.35
MONT-TREMBLANT-1	63780-1	531024011607	1750	300	294	0.98	47.00	6.26	29.13
NOTRE-DAME-DES-PINS	23370-1	491365000109	501	747	280	0.38	47.00	5.96	25.89
CAMPBELL'S-BAY	80260-1	523162005103	1180	932	277	0.30	24.00	11.53	28.11
UPTON	40360-1	392052180008	856	387	5	0.01			

Type de traitement: Biofiltration									
ILE-PERROT	72150-1	310843288716	7700	5675	3032	0.53			268.04
BOISBRIAND	63110-1	541479002209	14400	12400	4715	0.38	1389.00	3.39	318.60
CHATEAUGUAY	69600-1	300347001301	38000	23455	6986	0.30	2599.00	2.69	444.34
CUQ (OUEST)	00020-2	421372104909	237000	157000	39676	0.25	11634.00	3.41	2905.37
CUQ (EST)	00020-1	411950125806	270000	231000	52093	0.23	24871.00	2.09	3346.97

Type de traitement: Étangs aérés									
SAINTE-ADELE	63510-1	530652033404	400	145	257	1.77			
SAINT-GUILLAUME	42300-1	320873019717	926	595	963	1.62	149.00	6.46	63.36
LOTBINIERE	28660-1	462622117515	450	182	262	1.44			
SAINTE-BRIGITTE-DE-LAVAL	17460-1	410450170213	1200	712	931	1.31			47.87

Municipalité	No	No abonné	Populat.	DH (m3/j)	CE (kWh/j)	EEH (kWh/m3)	DBO Eniev. (kg/d)	EEE (kWh/kg)	PA moy (kW)
DESBIENS	90160-2	923572028002	1425	1516	1950	1.29	842.00	2.32	160.73
SAINT-DAMASE	51120-1	390321105319	1130	1875	2102	1.12	702.00	2.99	149.93
SAINT-ADRIEN	26710-1	692787621022	502	168	163	0.97	19.00	8.60	
LATERRIERE	94230-1	912822166001	866	307	291	0.95			22.64
DEAUVILLE	36400-1	381275115800	3450	1115	992	0.89	111.00	8.94	57.99
STRATFORD	26150-1	480672118118	410	205	182	0.89	23.00	7.92	
METABETCHOUAN	93320-1	922472054001	2395	1427	1267	0.89	150.00	8.45	107.94
SAINT-ALEXANDRE	53450-1	360714184312	1094	481	416	0.87	26.00	16.01	28.43
SAINT-ODILON-DE-CRANBOURNE	22210-1	491964119110	954	418	361	0.86	41.00	8.81	28.34
BROMONT	38780-1	371477102102	4000	4034	3476	0.86	274.00	12.69	200.15
COMPTON	25380-1	381783044005	532	422	357	0.85	21.00	17.00	
SAYABEC	05610-1	842312166015	1710	1694	1394	0.82	77.00	18.10	80.14
SAINT-ESPRIT	61200-1	551676140413	1200	647	527	0.81	18.00	29.26	43.98
SAINTE-JULIE	57280-1	341464062007	16500	5700	4634	0.81	605.00	7.66	238.56
LAC-DELAGE	20490-1	423706123217	987	724	583	0.81	24.00	24.31	
SAINT-ETIENNE-DES-GRES	43400-1	660976355520	1503	564	453	0.80	65.00	6.97	26.40
LA PLAINE	62510-1	541577014304	400	256	205	0.80	35.00	5.85	
SAINT-JEAN-DE-MATHA	58510-1	553754167714	1292	677	538	0.79	20.00	26.89	40.67
SAINT-LAZARE	15340-1	462908119508	580	235	185	0.79	19.00	9.74	
LAC-A-LA-CROIX	93240-1	923372375710	525	254	196	0.77	22.00	8.93	15.24
BROMPTONVILLE	35170-1	380571101100	2858	1580	1199	0.76	79.00	15.18	77.40
HAM-NORD	26690-1	692987752510	500	295	222	0.75			13.93
DUNHAM	54450-1	370678098226	1775	848	635	0.75	23.00	27.63	41.50
LAC-ETCHEMIN	22230-1	491666100145	3500	2650	1923	0.73	211.00	9.11	112.06
MONT-ROLLAND (MONT-GABRIEL)	63450-2	530951014816	80	184	133	0.72	9.00	14.81	
SAINT-HILARION	12300-1	411358118924	610	390	281	0.72	32.00	8.77	
SAINT-SIMON	40280-1	392852159301	237	358	257	0.72	64.00	4.02	20.22
OMERVILLE	37740-1	381176103509	1334	615	434	0.70	61.00	7.11	27.09
SAINT-AUBERT	13680-1	463406121913	618	258	177	0.69	20.00	8.85	13.84

Municipalité	No	No abonné	Populat.	DH (m3/j)	CE (kWh/j)	EEH (kWh/m3)	DBO Entev. (kg/d)	EEE (kWh/kg)	PA moy (kW)
VAL-DAVID (VAL-MORIN)	63530-2	531452021706	4500	1640	1111	0.68	256.00	4.34	74.48
SAINT-MAURICE	32330-1	662578116003	1000	530	358	0.68	39.00	9.18	26.84
SAINTE-SOPHIE	63280-1	512731009605	720	473	310	0.66	38.00	8.17	
ACTON-VALE	40400-1	320875047013	4300	8330	5458	0.66	1776.00	3.07	265.94
WEEDON-CENTRE	26380-1	480733105419	1230	1128	732	0.65	29.00	25.23	59.59
CAP-AUX-MEULES	01300-1	853824051207	1595	1289	836	0.65	160.00	5.22	53.16
SAINT-GEDEON	24130-1	490760103906	1500	1023	652	0.64	108.00	6.04	45.86
SAINTE-JULIENNE	61400-1	553119865317	1050	672	427	0.64	27.00	15.82	31.62
SAINTE-MARIE	23680-1	490565104208	7500	8750	5511	0.63	1557.00	3.54	256.74
MASSUEVILLE	50180-1	330225194720	742	645	399	0.62	44.00	9.07	31.59
ROXTON-POND	39340-1	370879075007	790	491	302	0.62	53.00	5.71	23.24
TRING-JONCTION	23530-1	491265104209	1250	1205	739	0.61	48.00	15.40	44.44
LYSTER	27510-1	462324112707	1980	348	207	0.59	53.00	3.91	27.12
PONT-ROUGE	29200-1	420342003902	3200	2037	1192	0.59	139.00	8.58	60.26
VILLE-MARIE	75700-1	710983357710	2586	2258	1319	0.58	69.00	19.11	72.56
SAINT-ADOLPHE-D'HOWARD	74660-1	531754014110	1522	742	433	0.58	37.00	11.71	32.41
SAINTE-MARTINE	69360-1	301042764300	2184	878	506	0.58			38.91
TOURVILLE	13500-1	461906117605	800	292	167	0.57	22.00	7.57	
SAINT-METHODE-DE-FRONTENAC	24770-1	483175114717	1250	473	267	0.57			
NOTRE-DAME-DU-NORD	83500-1	710384341511	1428	1120	630	0.56			39.78
MARSOUI	03550-1	812656107206	500	220	122	0.56	26.00	4.71	
PLAISANCE	75280-1	571102799913	985	895	494	0.55	72.00	6.87	41.93
SAINT-RAPHAEL	15510-1	462808126116	1364	863	472	0.55	41.00	11.51	
L'ANNONCIATION	76520-1	530941020014	1630	1623	887	0.55	122.00	7.27	41.59
CHICOUTIMI	94300-2	912222315018	542	395	212	0.54	19.00	11.16	20.95
BEEBE-PLAIN	37440-1	381784451803	1094	499	267	0.54	17.00	15.72	28.44
SAINT-MICHEL-DES-SAINTS	49600-1	551155139811	2100	1036	548	0.53	54.00	10.15	35.03
SAINT-URBAIN	12400-1	413258123913	1130	742	389	0.52	32.00	12.15	24.89
RIGAUD	72680-1	313641268716	4100	2400	1236	0.52	225.00	5.50	75.54

Municipalité	No	No abonné	Populat.	DH (m3/j)	CE (kWh/j)	EEH (kWh/m3)	DBO Enlev. (kg/d)	EEE (kWh/kg)	PA moy (kW)
SAWYERVILLE	25500-1	380872472028	880	634	327	0.52	26.00	12.56	28.88
STANSTEAD-PLAIN	37420-1	381074101704	1140	765	392	0.51	42.00	9.34	37.63
PAPINEAUVILLE	75240-1	573503022705	1900	1562	790	0.51	71.00	11.12	52.84
LAC-BROME	38500-1	371273103304	2400	3529	1736	0.49	277.00	6.27	104.41
BÉRNIERVILLE	27350-1	482234106805	1460	1075	523	0.49	103.00	5.08	45.73
SAINT-CYRILLE-DE-WENDOVER	41660-1	320772094118	1200	460	224	0.49	50.00	4.48	16.66
SAINT-CALIXTE	61420-1	551815907110	830	610	295	0.48	15.00	19.69	20.82
AMQUI	05430-1	810958116008	5430	3460	1675	0.48	458.00	3.66	78.19
COOKSHIRE	25520-1	380872100702	1323	1552	734	0.47	143.00	5.13	55.27
SAINT-LOUIS-DE-FRANCE	32310-1	660778000100	4000	2370	1121	0.47			70.67
MONT-CARMEL	10370-1	842711118104	1200	455	210	0.46	45.00	4.66	
RAWDON	61360-1	550412858510	2272	1848	852	0.46			49.04
CLERMONT	11480-1	412757112310	3852	1921	882	0.46	166.00	5.32	49.71
SAINT-GEDEON-1	93360-1	921573342000	1200	791	361	0.46	46.00	7.85	23.19
SAINT-ANACLET	07550-1	811452013519	1509	978	444	0.45	97.00	4.58	29.53
SAINT-GERARD	26350-1	483273118511	384	305	136	0.45	16.00	8.53	
SHENLEY	23230-1	490760105117	1068	935	416	0.44			
MONT-LAURIER	76650-1	590809103005	8700	6735	2996	0.44	729.00	4.11	173.99
DONNACONA	29280-1	421943130334	6240	3815	1676	0.44	310.00	5.41	91.14
SAINT-LIBOIRE	40300-1	391651201009	935	600	263	0.44	37.00	7.12	29.64
LA GUADELOUPE	24650-1	491565106714	1531	1220	530	0.43	143.00	3.71	44.65
SAINT-JOSEPH-DE-BEAUCE	23600-1	491665111416	4900	5745	2477	0.43	648.00	3.82	127.39
SAINT-PIE	40120-1	390358217904	1890	1230	529	0.43	59.00	8.97	33.85
PLESSISVILLE	27750-1	691085460810	8000	9910	4241	0.43	680.00	6.24	200.16
SAINT-MALACHIE	22340-1	460708117318	836	724	310	0.43	27.00	11.47	25.41
SAINTE-HELENE	10440-1	843915122405	950	359	153	0.43	33.00	4.64	
MATANE	06600-1	810457119230	13400	11762	5006	0.43	1309.00	3.82	251.76
LUCEVILLE	07530-1	812055100109	1460	900	372	0.41	60.00	6.21	
LAWRENCEVILLE	39400-1	370170036310	352	567	226	0.40	20.00	11.32	12.94

Municipalité	No	No abonné	Populat.	DH (m3/j)	CE (kWh/j)	EEH (kWh/m3)	DBO Enlev. (kg/d)	EEE (kWh/kg)	PA moy (kW)
SAINT-FELICIEN	90350-1	923781166007	9750	4835	1897	0.39	417.00	4.55	110.29
SAINTE-LUCIE-DES-LAURENTIDES	63590-1	530553022001	600	618	242	0.39	13.00	18.58	
LAROUCHE	94440-1	921172176007	673	595	230	0.39	16.00	14.35	
MISTASSINI	90275-1	921083306008	5921	3130	1206	0.39	166.00	7.27	74.08
ROBERVAL	90170-1	923971130003	10200	7250	2745	0.38	403.00	6.81	200.52
SAINTE-HEDWIDGE	90180-1	920681022108	714	505	188	0.37	22.00	8.55	15.28
PREVOST	63400-1	511553012713	6375	2866	1064	0.37	126.00	8.44	74.13
SAINT-APOLLINAIRE	28490-1	463124101106	1463	1360	505	0.37	75.00	6.73	
SAINT-PRIME	90190-1	920781064000	1220	1481	549	0.37	42.00	13.07	40.69
BAIE-SAINT-PAUL	12350-1	412258120101	4587	4493	1637	0.36	304.00	5.38	82.58
SAINT-GERMAIN-DE-GRANTHAM	41730-1	320770049106	1768	1406	512	0.36	169.00	3.03	40.22
BEAULAC	26200-1	481773115110	470	337	121	0.36	21.00	5.77	
SAINT-LEON-DE-STANDON	22290-1	494065102605	1600	552	194	0.35	39.00	4.98	
SAINT-ETIENNE-DE-LAUZON	21220-1	462075111908	4125	3424	1155	0.34	353.00	3.27	58.97
SAINT-JEAN-CHRYSOSTOME	21300-1	460873111005	12440	6660	2238	0.34	497.00	4.50	108.51
HEROUXVILLE	32510-1	673801303615	760	584	195	0.33	26.00	7.50	13.91
VARENNES	57320-1	340810000703	10970	8515	2825	0.33	664.00	4.25	212.89
SAINT-ELZEAR	23700-1	492364124007	1034	804	264	0.33	51.00	5.18	28.25
DANVILLE	35720-1	692081806717	2903	2735	889	0.32	81.00	10.97	80.19
VALCOURT	39600-1	371178028002	3945	2174	692	0.32	68.00	10.18	70.16
CONTRECOEUR	57780-1	331326012605	3486	3595	1137	0.32	77.00	14.77	84.21
SAINT-AIME-DES-LACS	11500-1	411058122614	388	445	140	0.32	19.00	7.39	11.25
SAINTE-HENEDINE	22450-1	462414116618	626	733	229	0.31	33.00	6.95	
LACOLLE	55120-1	361643179100	1760	2300	713	0.31	54.00	13.20	41.38
MONT-TREMBLANT	63780-2	530924000603	1300	596	184	0.31	35.00	5.27	
WATERVILLE	25440-1	380973101807	1330	1158	357	0.31	104.00	3.43	27.77
SAINT-MARTIN	23220-1	491862119113	1545	1126	345	0.31	67.00	5.15	
SAINTE-CATHERINE-J-CARTIER	29130-1	423710117312	1597	841	257	0.31	82.00	3.14	
L'EPIPHANIE	62360-1	552766128714	3026	2270	692	0.30	146.00	4.74	51.04

Municipalité	No	No abonné	Populat.	DH (m3/j)	CE (kWh/j)	EEH (kWh/m3)	DBO Enlev. (kg/d)	EEE (kWh/kg)	PA moy (kW)
SAINT-FRANCOIS-DE-SALES	90150-1	923671418229	692	444	134	0.30	36.00	3.71	
POHENEGAMOOK	10140-1	841316002507	2630	1600	476	0.30	88.00	5.40	33.19
LE BIC	07660-1	810252120516	2100	1400	415	0.30	80.00	5.19	27.31
ROXTON-FALLS	39730-1	373954234705	1474	1000	279	0.28	24.00	11.64	
ALMA-3	93480-3	920673112008	2986	2229	621	0.28	87.00	7.14	30.51
DELISLE	93530-1	924074346009	1349	1107	308	0.28	95.00	3.25	20.14
WATERLOO	39160-1	371374101801	4897	6919	1898	0.27	175.00	10.85	127.48
DISRAELI	26600-1	481536108600	3500	2460	670	0.27	64.00	10.47	67.25
SAINT-PROSPER	22180-1	490961107110	2427	1653	430	0.26	145.00	2.96	34.26
DEGELIS	09150-1	842313129806	3000	1846	480	0.26	108.00	4.44	24.86
EAST-BROUGHTON	23460-1	482235108107	2557	2242	580	0.26	101.00	5.74	33.76
CHAMBORD	90160-1	920771304002	1410	1003	251	0.25	49.00	5.13	
CHIBOUGAMAU	98200-1	953490000403	11595	12465	3098	0.25	256.00	12.10	147.71
GRAND-MERE	32550-1	670903086007	19313	14434	3494	0.24	1056.00	3.31	166.12
DOLBEAU	90290-1	920183268605	7445	7850	1833	0.23	292.00	6.28	97.04
SAINT-BASILE-SUD	29320-1	423243121302	1450	1741	375	0.22	48.00	7.82	24.48
MONTMAGNY	14550-1	462270123229	10760	11186	2403	0.21	598.00	4.02	133.86
L'ASSOMPTION	62420-1	551564125815	8600	7710	1655	0.21	387.00	4.28	102.93
LA POCATIERE	10760-1	461970111419	5994	6737	1390	0.21			83.27
RICHMOND	35640-1	321475218004	4470	2924	593	0.20	132.00	4.49	94.58
MELOCHEVILLE	70460-1	350191159804	1980	1582	309	0.20	90.00	3.43	26.14
CHAMBLY	56120-1	340681059127	18412	18640	3583	0.19	1388.00	2.58	184.74
LA TUQUE	32660-1	682098074615	12816	9627	1810	0.19			106.64
SAINTE-AURELIE	23110-1	493261107608	2154	1361	253	0.19	81.00	3.13	17.91
FOSSAMBAULT-SUR-LE-LAC	29140-1	421312115809	850	1946	345	0.18	30.00	11.49	
BAIE-COMEAU-2	97345-2	131650117313	13739	10214	1658	0.16	606.00	2.74	170.91
RIMOUSKI	07570-1	810851132003	30200	33981	5434	0.16	2215.00	2.45	249.45
WINDSOR	35480-1	691281409926	4814	5220	823	0.16	291.00	2.83	62.59
NOTRE-DAME-DE-L'ILE-PERROT	72130-1	311643146005	3379	1724	39	0.02			

Municipalité	No	No abonné	Populat.	DH (m3/j)	CE (kWh/j)	EEH (kWh/m3)	DBO Enlev. (kg/d)	EEE (kWh/kg)	PA moy (kW)
ALMA-1	93480-1	921373330007	22216	20000	263	0.01			133.52

Type de traitement: Fosse septique commune

SAINT-ALPHONSE	39260-1	832231102506	70	66	97	1.47			
STANSTEAD (GEORGEVILLE)	37480-2	382685437214	300	114	63	0.55			
SAINT-THEOPHILE	23180-1	492761114114	300	128	17	0.13			

Type de traitement: Physico-chimique

LAVAL (FABREVILLE)	64500-1	503902001604	35000	21300	5647	0.27	840.00	6.72	401.10
CUM	00065-1	243092441613	1200000	1706000	345592	0.20	69310.00	4.99	19635.83

Appendice D

**Données de consommation électrique pour l'épuration
des eaux usées municipales selon diverses sources**

<i>Burton Environmental Engineering et al. (1993)</i>						
Tableau I-A. Consommation électrique pour les stations d'épuration de type boues activées conventionnelles						
Unité de traitement						
Pompage des eaux usées	171	716	1402	2559	6030	11818
Dégrillage	2	2	2	3	6	11
Dessablage (à air comprimé)	49	87	134	250	600	1200
Décantation primaire	15	78	155	310	776	1551
Aération des boues activées	532	2660	5320	10640	26600	53200
Pompage de retour des boues activées	45	213	423	724	1627	3131
Décantation secondaire	15	78	155	310	776	1551
Épaississement gravitaire	6	15	25	37	75	138
Flottation à l'air dissous	N/A	N/A	1805	2918	6257	11819
Digestion aérobie	1200	2400	N/A	N/A	N/A	N/A
Digestion anaérobie	N/A	N/A	1400	2700	6500	13000
Déshydratation (filtres-presses à bandes)	N/A	192	384	579	1164	2139
Chloration des eaux épurées	1	5	27	53	133	266
Éclairage et chauffage des bâtiments	200	400	800	1200	2000	3000
TOTAL (kwh/d)	2236	6846	12032	22284	52544	102824
CAPACITÉ (m3/d)	3786	18931	37862	75723	189308	378616
ÉNERGIE UTILISÉE (kwh/m3)	0.591	0.362	0.318	0.294	0.278	0.272
N/A = non-applicable						

<i>Burton Environmental Engineering et al. (1993)</i>						
Tableau II-A. Consommation électrique pour les stations d'épuration de type biofiltration						
Unité de traitement						
Pompage des eaux usées	171	716	1402	2559	6030	11818
Dégrillage	2	2	2	3	6	11
Dessablage (à air comprimé)	49	87	134	250	600	1200
Décantation primaire	15	78	155	310	776	1551
Pompage pour le lit filtrant	352	1319	2528	4686	11551	22826
Pompage de retour des boues	45	213	423	724	1627	3131
Décantation secondaire	15	78	155	310	776	1551
Épaississement gravitaire	6	15	25	37	75	138
Flottation à l'air dissous	N/A	N/A	1805	2918	6257	11819
Digestion aérobie	1000	2000	N/A	N/A	N/A	N/A
Digestion anaérobie	N/A	N/A	1100	2100	5000	11000
Déshydratation (filtres-presses à bandes)	N/A	192	384	579	1164	2139
Chloration des eaux épurées	1	5	27	53	133	266
Éclairage et chauffage des bâtiments	200	400	800	1200	2000	3000
TOTAL (kwh/d)	1811	4892	8517	15005	34368	67319
CAPACITÉ (m3/d)	3786	18931	37862	75723	189308	378616
ÉNERGIE UTILISÉE (kwh/m3)	0.478	0.258	0.225	0.198	0.182	0.178
N/A = non-applicable						

<i>Burton Environmental Engineering et al. (1993)</i>						
Tableau III-A. Consommation électrique pour les stations d'épuration de type boues activées avancées sans nitrification						
Unité de traitement						
Pompage des eaux usées	171	716	1402	2559	6030	11818
Dégrillage	2	2	2	3	6	11
Dessablage (à air comprimé)	49	87	134	250	600	1200
Décantation primaire	15	78	155	310	776	1551
Aération des boues activées	532	2660	5320	10640	26600	53200
Pompage de retour des boues activées	45	213	423	724	1627	3131
Décantation secondaire	15	78	155	310	776	1551
Dosage de produits chimiques	80	290	552	954	2187	4159
Pompage pour la filtration tertiaire	143	445	822	1645	3440	6712
Filtration tertiaire	137	247	385	709	1679	3295
Épaississement gravitaire	6	15	25	37	75	138
Flottation à l'air dissous	N/A	N/A	2022	3268	7008	13237
Digestion aérobie	1200	2400	N/A	N/A	N/A	N/A
Digestion anaérobie	N/A	N/A	1400	2700	6500	13000
Déshydratation (filtres-presses à bandes)	N/A	228	457	689	1385	2545
Chloration des eaux épurées	1	5	27	53	133	266
Éclairage et chauffage des bâtiments	200	400	800	1200	2000	3000
TOTAL (kwh/d)	2596	7864	14081	26051	60822	118814
CAPACITÉ (m3/d)	3786	18931	37862	75723	189308	378616
ÉNERGIE UTILISÉE (kwh/m3)	0.686	0.415	0.372	0.344	0.321	0.314
N/A = non-applicable						

<i>Burton Environmental Engineering et al. (1993)</i>						
Tableau IV-A. Consommation électrique pour les stations d'épuration de type boues activées avancées avec nitrification						
Unité de traitement						
Pompage des eaux usées	171	716	1402	2559	6030	11818
Dégrillage	2	2	2	3	6	11
Dessablage (à air comprimé)	49	87	134	250	600	1200
Décantation primaire	15	78	155	310	776	1551
Aération des boues activées	532	2660	5320	10640	26600	53200
Nitrification biologique	346	1724	3446	6818	16936	33800
Pompage de retour des boues activées	45	213	423	724	1627	3131
Décantation secondaire	15	78	155	310	776	1551
Dosage de produits chimiques	80	290	552	954	2187	4159
Pompage pour la filtration tertiaire	143	445	822	1645	3440	6712
Filtration tertiaire	137	247	385	709	1679	3295
Épaississement gravitaire	6	15	25	37	75	138
Flottation à l'air dissous	N/A	N/A	2022	3268	7008	13237
Digestion aérobie	1200	2400	N/A	N/A	N/A	N/A
Digestion anaérobie	N/A	N/A	1400	2700	6500	13000
Déshydratation (filtres-presses à bandes)	N/A	228	457	689	1385	2545
Chloration des eaux épurées	1	5	27	53	133	266
Éclairage et chauffage des bâtiments	200	400	800	1200	2000	3000
TOTAL (kwh/d)	2951	9631	17912	33514	79383	155540
CAPACITÉ (m ³ /d)	3786	18931	37862	75723	189308	378616
ÉNERGIE UTILISÉE (kwh/m ³)	0.779	0.509	0.473	0.443	0.419	0.411
N/A = non-applicable						

Burton Environmental Engineering et al. (1993)						
Tableau I-B. Consommation électrique (%) pour les stations d'épuration de type boues activées conventionnelles						
Unité de traitement						
Pompage des eaux usées	7.65	10.46	11.65	11.48	11.48	11.49
Dégrillage	0.09	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
Dessablage (à air comprimé)	2.19	1.27	1.11	1.12	1.14	1.17
Décantation primaire	0.67	1.14	1.29	1.39	1.48	1.51
Aération des boues activées	23.79	38.85	44.22	47.75	50.62	51.74
Pompage de retour des boues activées	2.01	3.11	3.52	3.25	3.10	3.05
Décantation secondaire	0.67	1.14	1.29	1.39	1.48	1.51
Épaississement gravitaire	0.27	0.22	0.21	0.17	0.14	0.13
Flottation à l'air dissous			15.00	13.09	11.91	11.49
Digestion aérobie	53.67	35.06				
Digestion anaérobie			11.64	12.12	12.37	12.64
Déshydratation (filtres-presses à bandes)		2.80	3.19	2.60	2.22	2.08
Chloration des eaux épurées	0.04	0.07	0.22	0.24	0.25	0.26
Éclairage et chauffage des bâtiments	8.94	5.84	6.65	5.39	3.81	2.92
TOTAL (kwh/d)	2236	6846	12032	22284	52544	102824
CAPACITÉ (m3/d)	3786	18931	37862	75723	189308	378616
ÉNERGIE UTILISEE (kwh/m3)	0.591	0.362	0.318	0.294	0.278	0.272
N/A = non-applicable						

<i>Burton Environmental Engineering et al. (1993)</i>							
Tableau II-B. Consommation électrique (%) pour les stations d'épuration de type biofiltration							
Unité de traitement							
Pompage des eaux usées	9.44	14.64	16.46	17.05	17.55	17.56	
Dégrillage	0.11	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Dessablage (à air comprimé)	2.71	1.78	1.57	1.67	1.75	1.78	
Décantation primaire	0.83	1.59	1.82	2.07	2.26	2.30	
Pompage pour le lit filtrant	19.44	26.96	29.68	31.23	33.61	33.91	
Pompage de retour des boues	2.48	4.35	4.97	4.83	4.73	4.65	
Décantation secondaire	0.83	1.59	1.82	2.07	2.26	2.30	
Épaississement gravitaire	0.33	0.31	0.29	0.25	0.22	0.20	
Flottation à l'air dissous			21.19	19.45	18.21	17.56	
Digestion aérobie	55.22	40.88					
Digestion anaérobie			12.92	14.00	14.55	16.34	
Déshydratation (filtres-presses à bandes)		3.92	4.51	3.86	3.39	3.18	
Chloration des eaux épurées	0.06	0.10	0.32	0.35	0.39	0.40	
Éclairage et chauffage des bâtiments	11.04	8.18	9.39	8.00	5.82	4.46	
TOTAL (kwh/d)	1811	4892	8517	15005	34368	67319	
CAPACITÉ (m3/d)	3786	18931	37862	75723	189308	378616	
ÉNERGIE UTILISÉE (kwh/m3)	0.478	0.258	0.225	0.198	0.182	0.178	
N/A = non-applicable							

<i>Burton Environmental Engineering et al. (1993)</i>							
Tableau III-B. Consommation électrique (%) pour les stations d'épuration de type boues activées avancées sans nitrification							
Unité de traitement							
Pompage des eaux usées	6.59	9.10	9.96	9.82	9.91	9.95	
Dégrillage	0.08	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	
Dessablage (à air comprimé)	1.89	1.11	0.95	0.96	0.99	1.01	
Décantation primaire	0.58	0.99	1.10	1.19	1.28	1.31	
Aération des boues activées	20.49	33.83	37.78	40.84	43.73	44.78	
Pompage de retour des boues activées	1.73	2.71	3.00	2.78	2.68	2.64	
Décantation secondaire	0.58	0.99	1.10	1.19	1.28	1.31	
Dosage de produits chimiques	3.08	3.69	3.92	3.66	3.60	3.50	
Pompage pour la filtration tertiaire	5.51	5.66	5.84	6.31	5.66	5.65	
Filtration tertiaire	5.28	3.14	2.73	2.72	2.76	2.77	
Épaississement gravitaire	0.23	0.19	0.18	0.14	0.12	0.12	
Flottation à l'air dissous			14.36	12.54	11.52	11.14	
Digestion aérobie	46.22	30.52					
Digestion anaérobie			9.94	10.36	10.69	10.94	
Déshydratation (filtres-presses à bandes)		2.90	3.25	2.64	2.28	2.14	
Chloration des eaux épurées	0.04	0.06	0.19	0.20	0.22	0.22	
Éclairage et chauffage des bâtiments	7.70	5.09	5.68	4.61	3.29	2.52	
TOTAL (kwh/d)	2596	7864	14081	26051	60822	118814	
CAPACITÉ (m3/d)	3786	18931	37862	75723	189308	378616	
ÉNERGIE UTILISÉE (kwh/m3)	0.686	0.415	0.372	0.344	0.321	0.314	
N/A = non-applicable							

<i>Burton Environmental Engineering et al. (1993)</i>						
Tableau IV-B. Consommation électrique (%) pour les stations d'épuration de type boues activées avancées avec nitrification						
Unité de traitement						
Pompage des eaux usées	5.79	7.43	7.83	7.64	7.60	7.60
Dégrillage	0.07	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
Dessablage (à air comprimé)	1.66	0.90	0.75	0.75	0.76	0.77
Décantation primaire	0.51	0.81	0.87	0.92	0.98	1.00
Aération des boues activées	18.03	27.62	29.70	31.75	33.51	34.20
Nitrification biologique	11.72	17.90	19.24	20.34	21.33	21.73
Pompage de retour des boues activées	1.52	2.21	2.36	2.16	2.05	2.01
Décantation secondaire	0.51	0.81	0.87	0.92	0.98	1.00
Dosage de produits chimiques	2.71	3.01	3.08	2.85	2.75	2.67
Pompage pour la filtration tertiaire	4.85	4.62	4.59	4.91	4.33	4.32
Filtration tertiaire	4.64	2.56	2.15	2.12	2.12	2.12
Épaississement gravitaire	0.20	0.16	0.14	0.11	0.09	0.09
Flottation à l'air dissous			11.29	9.75	8.83	8.51
Digestion aérobie	40.66	24.92				
Digestion anaérobie			7.82	8.06	8.19	8.36
Déshydratation (filtres-presses à bandes)		2.37	2.55	2.06	1.74	1.64
Chloration des eaux épurées	0.03	0.05	0.15	0.16	0.17	0.17
Éclairage et chauffage des bâtiments	6.78	4.15	4.47	3.58	2.52	1.93
TOTAL (kwh/d)	2951	9631	17912	33514	79383	155540
CAPACITÉ (m3/d)	3786	18931	37862	75723	189308	378616
ÉNERGIE UTILISÉE (kwh/m3)	0.779	0.509	0.473	0.443	0.419	0.411
N/A = non-applicable						

<i>Burton Environmental Engineering et al. (1993)</i>						
Tableau I-C. Consommation électrique (KWh/m³) pour les stations d'épuration de type boues activées conventionnelles						
Unité de traitement						
Pompage des eaux usées	0.0452	0.0378	0.0370	0.0338	0.0319	0.0312
Dégrillage	0.0005	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
Dessablage (à air comprimé)	0.0129	0.0046	0.0035	0.0033	0.0032	0.0032
Décantation primaire	0.0040	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041
Aération des boues activées	0.1405	0.1405	0.1405	0.1405	0.1405	0.1405
Pompage de retour des boues activées	0.0119	0.0113	0.0112	0.0096	0.0086	0.0083
Décantation secondaire	0.0040	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041
Épaississement gravitaire	0.0016	0.0008	0.0007	0.0005	0.0004	0.0004
Flottation à l'air dissous			0.0477	0.0385	0.0331	0.0312
Digestion aérobie	0.3170	0.1268				
Digestion anaérobie			0.0370	0.0357	0.0343	0.0343
Déshydratation (filtres-presses à bandes)		0.0101	0.0101	0.0076	0.0061	0.0056
Chloration des eaux épurées	0.0003	0.0003	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007
Éclairage et chauffage des bâtiments	0.0528	0.0211	0.0211	0.0158	0.0106	0.0079
TOTAL (kwh/d)	2236	6846	12032	22284	52544	102824
CAPACITÉ (m ³ /d)	3786	18931	37862	75723	189308	378616
ÉNERGIE UTILISÉE (kwh/m ³)	0.591	0.362	0.318	0.294	0.278	0.272
N/A = non-applicable						

<i>Burton Environmental Engineering et al. (1993)</i>						
Tableau II-C. Consommation électrique (KWh/m3) pour les stations d'épuration de type biofiltration						
Unité de traitement						
Pompage des eaux usées	0.0452	0.0378	0.0370	0.0338	0.0319	0.0312
Dégrillage	0.0005	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
Dessablage (à air comprimé)	0.0129	0.0046	0.0035	0.0033	0.0032	0.0032
Décantation primaire	0.0040	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041
Pompage pour le lit filtrant	0.0930	0.0697	0.0668	0.0619	0.0610	0.0603
Pompage de retour des boues	0.0119	0.0113	0.0112	0.0096	0.0086	0.0083
Décantation secondaire	0.0040	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041
Épaississement gravitaire	0.0016	0.0008	0.0007	0.0005	0.0004	0.0004
Flottation à l'air dissous			0.0477	0.0385	0.0331	0.0312
Digestion aérobie	0.2641	0.1056				
Digestion anaérobie			0.0291	0.0277	0.0264	0.0291
Déshydratation (filtres-presses à bandes)		0.0101	0.0101	0.0076	0.0061	0.0056
Chloration des eaux épurées	0.0003	0.0003	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007
Éclairage et chauffage des bâtiments	0.0528	0.0211	0.0211	0.0158	0.0106	0.0079
TOTAL (kwh/d)	1811	4892	8517	15005	34368	67319
CAPACITÉ (m3/d)	3786	18931	37862	75723	189308	378616
ÉNERGIE UTILISÉE (kwh/m3)	0.478	0.258	0.225	0.198	0.182	0.178
N/A = non-applicable						

<i>Burton Environmental Engineering et al. (1993)</i>						
Tableau III-C. Consommation électrique (KWh/m3) pour les stations d'épuration de type boues activées avancées sans nitrification						
Unité de traitement						
Pompage des eaux usées	0.0452	0.0378	0.0370	0.0338	0.0319	0.0312
Dégrillage	0.0005	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
Dessablage (à air comprimé)	0.0129	0.0046	0.0035	0.0033	0.0032	0.0032
Décantation primaire	0.0040	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041
Aération des boues activées	0.1405	0.1405	0.1405	0.1405	0.1405	0.1405
Pompage de retour des boues activées	0.0119	0.0113	0.0112	0.0096	0.0086	0.0083
Décantation secondaire	0.0040	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041
Dosage de produits chimiques	0.0211	0.0153	0.0146	0.0126	0.0116	0.0110
Pompage pour la filtration tertiaire	0.0378	0.0235	0.0217	0.0217	0.0182	0.0177
Filtration tertiaire	0.0362	0.0130	0.0102	0.0094	0.0089	0.0087
Épaississement gravitaire	0.0016	0.0008	0.0007	0.0005	0.0004	0.0004
Flottation à l'air dissous			0.0534	0.0432	0.0370	0.0350
Digestion aérobie	0.3170	0.1268				
Digestion anaérobie			0.0370	0.0357	0.0343	0.0343
Déshydratation (filtres-presses à bandes)		0.0120	0.0121	0.0091	0.0073	0.0067
Chloration des eaux épurées	0.0003	0.0003	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007
Éclairage et chauffage des bâtiments	0.0528	0.0211	0.0211	0.0158	0.0106	0.0079
TOTAL (kwh/d)	2596	7864	14081	26051	60822	118814
CAPACITÉ (m3/d)	3786	18931	37862	75723	189308	378616
ÉNERGIE UTILISÉE (kwh/m3)	0.686	0.415	0.372	0.344	0.321	0.314
N/A = non-applicable						

<i>Burton Environmental Engineering et al. (1993)</i>						
Tableau IV-C. Consommation électrique (KWh/m³) pour les stations d'épuration de type boues activées avancées avec nitrification						
Unité de traitement						
Pompage des eaux usées	0.0452	0.0378	0.0370	0.0338	0.0319	0.0312
Dégrillage	0.0005	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
Dessablage (à air comprimé)	0.0129	0.0046	0.0035	0.0033	0.0032	0.0032
Décantation primaire	0.0040	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041
Aération des boues activées	0.1405	0.1405	0.1405	0.1405	0.1405	0.1405
Nitrification biologique	0.0914	0.0911	0.0910	0.0900	0.0895	0.0893
Pompage de retour des boues activées	0.0119	0.0113	0.0112	0.0096	0.0086	0.0083
Décantation secondaire	0.0040	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041
Dosage de produits chimiques	0.0211	0.0153	0.0146	0.0126	0.0116	0.0110
Pompage pour la filtration tertiaire	0.0378	0.0235	0.0217	0.0217	0.0182	0.0177
Filtration tertiaire	0.0362	0.0130	0.0102	0.0094	0.0089	0.0087
Épaississement gravitaire	0.0016	0.0008	0.0007	0.0005	0.0004	0.0004
Flottation à l'air dissous			0.0534	0.0432	0.0370	0.0350
Digestion aérobie	0.3170	0.1268				
Digestion anaérobie			0.0370	0.0357	0.0343	0.0343
Déshydratation (filtres-presses à bandes)		0.0120	0.0121	0.0091	0.0073	0.0067
Chloration des eaux épurées	0.0003	0.0003	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007
Éclairage et chauffage des bâtiments	0.0528	0.0211	0.0211	0.0158	0.0106	0.0079
TOTAL (kwh/d)	2951	9631	17912	33514	79383	155540
CAPACITÉ (m ³ /d)	3786	18931	37862	75723	189308	378616
ÉNERGIE UTILISÉE (kwh/m ³)	0.779	0.509	0.473	0.443	0.419	0.411
N/A = non-applicable						

<i>Burton Environmental Engineering et al. (1993)</i>				
Tableau V. Répartition des stations d'épuration américaines selon la capacité hydraulique				
Capacité (m ³ /d)	Nb de stations en 1988	Nb de stations prévues	Débit mesuré en 1988 (m ³ /d)	Débit prévu (m ³ /d)
38-379	5983	5497	980574	1010862
380-3786	6589	7681	8734302	10157838
3787-37860	2427	3376	27175908	39885510
+	446	739	71903712	116627730
Inconnu	146	81	0	0
TOTAL	15591	17374	108794496	167681940
<i>Burton Environmental Engineering et al. (1993)</i>				
Tableau VI. Répartition des stations d'épuration américaines selon le niveau de traitement				
Niveau de traitement	Nb de stations en 1988	Nb de stations prévues	Débit de conception en 1988 (m ³ /d)	Débit de conception prévu (m ³ /d)
Moins que secondaire	1789	48	19043580	1457610
Secondaire	8536	9659	60905382	71896140
Plus que secondaire	3412	5293	58637568	87520962
Aucun rejet	1854	2363	3914724	6697434
Autre	-	11	-	30288
TOTAL	15591	17374	142501254	167602434
<i>Burton Environmental Engineering et al. (1993)</i>				
Tableau VII. Consommation électrique américaine pour le traitement des eaux usées				
Niveau de traitement	Électricité consommé (kwh/m ³)	Débit d'eau (m ³ /d) 1988	Électricité requis (kwh/d) 1988	Débit d'eau (m ³ /d) (prévu)
Moins que secondaire	0.175	14538240	2538200	1457610
Secondaire	0.320	46499652	14885800	71896140
Plus que secondaire	0.417	44769450	18659900	87520962
Aucun rejet	0.106	2987154	315600	6697434
Autre	0.106			30288
TOTAL	0.335	108794496	36399500	167602434
	0.381			

<i>Burton Environmental Engineering et al. (1993)</i>				
Tableau VIII. Dénombrement des divers procédés biologiques d'épuration des eaux usées employés aux États-Unis				
Procédés	Nb de stations en 1988	Nb de stations prévues	Augmentation	% d'augmentation
Boues activées	3591	4284	693	19
Boues activées à aération prolongée	2082	2858	776	37
Fossés d'oxydation	937	1353	416	44
Etangs aérés	1575	2367	792	50
Bassins de stabilisation	5165	6449	1284	25
Bassins de retenu	867	1017	150	17
Marécages/aquaculture	5	21	16	320
Lit filtrant (biofiltration)	2260	2365	105	5
Biodisques	448	725	277	62
Réacteurs biologiques séquentiels	1	2	1	100
Nitrification biologique	1007	2053	1046	104
Dénitrification biologique	49	85	36	73
Enlèvement biologique du phosphore	28	37	9	32
Autres traitements biologiques	39	65	26	67
Épandage sur les terres	985	1445	460	47
<i>Burton Environmental Engineering et al. (1)</i>				
Tableau IX. Dénombrement des divers procédés de traitement des boues employés aux États-Unis				
Procédés	Nb de stations en 1988	Nb de stations prévues	Augmentation	% d'augmentation
Épaississement gravitaire	1246	1556	310	25
Digestion aérobie	3710	4800	1090	29
Digestion anaérobie	3628	4072	444	12
Traitement thermique	143	163	20	14
Déshydratation mécanique	1718	2123	405	24
Séchage à l'air	6037	7241	1204	20
Compostage	77	126	49	64
Fossés d'oxydation	688	822	134	19
Stabilisation chimique	139	189	50	36
Incinération	341	392	51	15
Utilisation des gaz et de la chaleur	246	288	42	17
Autres traitements	574	774	200	35

<i>Burton Environmental Engineering et al. (1993)</i>						
Tableau X. Variation diurne de la consommation électrique (kwh) à débit moyen dans les usines d'épuration de type boues activées						
Heure	Pompage des eaux	Aération	Pompage de retour	Traitement des boues*	Autres**	TOTAL
1	29	106	8	111	19	273
2	14	53	4	93	14	178
3	14	53	4	93	9	173
4	14	53	4	93	9	173
5	14	53	4	93	5	169
6	14	53	4	93	5	169
7	14	53	4	93	9	173
8	29	106	8	111	14	268
9	70	266	21	166	24	547
10	98	372	30	202	28	730
11	112	426	34	220	28	820
12	112	426	34	220	28	820
13	126	479	38	238	28	909
14	112	426	34	220	28	820
15	98	372	30	202	24	726
16	84	319	25	184	24	636
17	70	266	21	166	19	542
18	56	213	17	148	19	453
19	42	160	13	129	19	363
20	56	213	17	148	24	458
21	56	213	17	148	24	458
22	70	266	21	166	24	547
23	56	213	17	148	24	458
24	42	160	14	130	24	370
TOTAL	1402	5320	423	3615	473	11233
%	12.5	47.4	3.8	32.1	4.2	
*	Le traitement des boues comprend l'épaississement gravitaire, la flottation à l'air dissous, la digestion anaérobie et la déshydratation sur filtres à bandes presseuses					
**	Les autres systèmes comprennent le dégrillage, le dessablage, la décantation primaire, la décantation secondaire et la chloration					
N.B.	Le total ne comprend pas l'électricité requise pour l'éclairage et le chauffage					

<i>Burton Environmental Engineering et al. (1993)</i>						
Tableau XI. Variation diurne de la consommation électrique (kwh) à débit variable dans les usines d'épuration de type boues activées						
Heure	Pompage des eaux	Aération	Pompage de retour	Traitement des boues	Autres	TOTAL
1	77	77	6	109	26	295
2	38	77	6	109	13	243
3	38	77	6	109	13	243
4	19	77	6	108	6	216
5	19	77	6	108	6	216
6	19	77	6	108	6	216
7	19	77	6	108	6	216
8	58	155	12	135	19	379
9	96	309	25	188	32	650
10	115	541	43	267	39	1005
11	134	618	49	294	45	1140
12	134	695	55	320	45	1249
13	153	734	58	333	52	1330
14	134	734	58	333	45	1304
15	115	695	55	320	39	1224
16	96	541	43	267	32	979
17	77	464	37	240	26	844
18	77	309	25	188	26	625
19	77	232	18	162	26	515
20	77	232	18	162	26	515
21	77	232	18	162	26	515
22	96	309	25	188	32	650
23	77	232	18	162	26	515
24	96	155	12	136	32	431
TOTAL	1918	7726	611	4616	644	15515
%	12.4	49.8	4.0	29.7	4.1	

<i>Burton Environmental Engineering et al. (1993)</i>								
Tableau XII. Variation diurne de la consommation électrique (kwh) à débit moyen dans les usines d'épuration de type boues activées avancées avec nitrification								
Heure	Pompage des eaux	Aération	Nitrification	Filtration	Pompage de retour	Traitement des boues*	Autres	TOTAL
1	29	106	69	70	10	131	19	434
2	14	53	34	53	5	111	14	284
3	14	53	34	35	5	111	9	261
4	14	53	34	35	5	111	9	261
5	14	53	34	18	5	110	5	239
6	14	53	34	18	5	110	5	239
7	14	53	34	35	5	111	9	261
8	29	106	69	53	10	131	14	412
9	70	266	172	88	25	192	24	837
10	98	372	241	106	36	233	28	1114
11	112	426	276	106	41	253	28	1242
12	112	426	276	106	41	253	28	1242
13	126	479	310	106	47	273	28	1369
14	112	426	276	106	41	253	28	1242
15	98	372	241	88	36	233	24	1092
16	84	319	207	88	31	212	24	965
17	70	266	172	70	25	192	19	814
18	56	213	138	70	20	172	19	688
19	42	160	105	70	15	152	19	563
20	56	213	138	88	20	172	24	711
21	56	213	138	88	20	172	24	711
22	70	266	172	88	25	192	24	837
23	56	213	138	88	20	172	24	711
24	42	160	104	86	15	152	24	583
TOTAL	1402	5320	3446	1759	508	4204	473	17112
%	8.2	31.1	20.1	10.3	3	24.5	2.8	
* Le traitement des boues comprend l'épaississement gravitaire, la flottation à l'air dissous, la digestion anaérobie, la déshydratation sur filtres à bandes presseuses et l'incinération								

<i>Burton Environmental Engineering et al. (1993)</i>								
Tableau XIII. Variation diurne de la consommation électrique (kwh) à débit variable dans les usines d'épuration de type boues activées avancées avec nitrification								
Heure	Pompage des eaux	Aération	Nitrification	Filtration	Pompage de retour	Traitement des boues	Autres	TOTAL
1	19	77	50	120	7	130	32	435
2	19	77	50	48	7	129	13	343
3	19	77	50	48	7	129	13	343
4	19	77	50	24	7	129	6	312
5	19	77	50	24	7	129	6	312
6	19	77	50	24	7	129	6	312
7	19	77	50	24	7	129	6	312
8	38	155	100	72	15	159	19	558
9	77	309	200	120	30	218	32	986
10	115	464	300	144	44	277	39	1383
11	154	618	400	169	59	336	45	1781
12	173	695	450	169	66	366	45	1964
13	182	734	475	193	70	381	52	2087
14	182	734	475	169	70	380	45	2055
15	173	695	450	144	66	365	39	1932
16	144	579	375	120	55	321	32	1626
17	106	425	275	96	41	262	26	1231
18	77	309	200	96	30	218	26	936
19	67	270	175	96	26	203	26	863
20	58	232	150	96	22	188	26	772
21	58	232	150	96	22	188	26	772
22	77	309	200	120	30	218	32	986
23	67	270	175	96	26	203	26	863
24	38	155	100	96	15	159	26	589
TOTAL	1919	7724	5000	2404	736	5346	644	23773
%	8.1	32.5	21.0	10.1	3.1	22.5	2.7	

<i>Middlebrooks et al. (1981)</i>						
Tableau XIV-A. Consommation électrique pour les stations d'épuration de type biofiltration						
Unité de traitement						
Pompage des eaux usées	3.29	6.25	27.95	53.15	147.67	237.53
Dégrillage	1.27	1.75	2.88	3.29	3.97	4.36
Comminution	4.66	5.97	10.14	12.82	19.40	24.14
Dessablage (non-aéré)	0.71	0.84	1.23	1.45	1.89	2.14
Décantation primaire	6.93	8.74	14.85	18.68	27.32	32.85
Pompage pour le lit filtrant	10.05	19.73	60.14	167.95	471.78	762.47
Décantation secondaire	8.58	10.27	15.92	19.81	29.92	37.59
Désinfection énergie primaire	2.27	3.40	12.88	25.56	79.92	135.67
Désinfection énergie secondaire	8.25	16.49	82.49	165.01	495.07	825.01
Épaississement gravitaire	0.10	0.19	0.87	1.67	4.74	7.48
Digestion anaérobie	3.34	6.67	33.37	66.72	200.16	333.59
Lits de séchage	0.05	0.09	0.40	0.77	2.28	3.82
TOTAL (kwh/d)	49.50	80.39	263.10	536.89	1484.12	2406.64
CAPACITÉ (m3/d)	189	379	1893	3785	11355	18925
ÉNERGIE UTILISÉE (kwh/m3)	0.262	0.212	0.139	0.142	0.131	0.127

<i>Middlebrooks et al. (1981)</i>						
Tableau XV-A. Consommation électrique pour les stations d'épuration de type biodisques						
Unité de traitement						
Pompage des eaux usées	3.29	6.25	27.95	53.15	147.67	237.53
Dégrillage	1.27	1.75	2.88	3.29	3.97	4.36
Comminution	4.66	5.97	10.14	12.82	19.40	24.14
Dessablage (non-aéré)	0.71	0.84	1.23	1.45	1.89	2.14
Décantation primaire	6.93	8.74	14.85	18.68	27.32	32.85
Biodisques	10.00	20.00	100.00	200.00	600.00	1000.00
Décantation secondaire	8.58	10.27	15.92	19.81	29.92	37.59
Désinfection énergie primaire	2.27	3.40	12.88	25.56	79.92	135.67
Désinfection énergie secondaire	8.25	16.49	82.49	165.01	495.07	825.01
Épaississement gravitaire	0.10	0.19	0.87	1.67	4.74	7.48
Digestion anaérobie	3.34	6.67	33.37	66.72	200.16	333.59
Lits de séchage	0.05	0.09	0.40	0.77	2.28	3.82
TOTAL (kwh/d)	49.44	80.66	302.96	568.95	1612.34	2644.18
CAPACITÉ (m3/d)	189	379	1893	3785	11355	18925
ÉNERGIE UTILISÉE (kwh/m3)	0.262	0.213	0.160	0.150	0.142	0.140

<i>Middlebrooks et al. (1981)</i>						
Tableau XVI-A. Consommation électrique pour les stations d'épuration de type boues activées						
Unité de traitement						
Pompage des eaux usées	3.29	6.25	27.95	53.15	147.67	237.53
Dégrillage	1.27	1.75	2.88	3.29	3.97	4.36
Comminution	4.66	5.97	10.14	12.82	19.40	24.14
Dessablage (aéré)	29.07	31.23	33.67	36.36	48.77	62.11
Décantation primaire	6.93	8.74	14.85	18.68	27.32	32.85
Aération des boues activées	21.92	43.84	219.18	438.36	1315.07	2191.78
Décantation secondaire	12.25	13.73	28.47	44.93	101.45	150.33
Désinfection énergie primaire	2.27	3.40	12.88	25.56	79.92	135.67
Désinfection énergie secondaire	8.25	16.49	82.49	165.01	495.07	825.01
Épaississement gravitaire	0.10	0.19	0.87	1.67	4.74	7.48
Flottation à l'air dissous	11.89	21.75	88.14	161.10	418.90	653.29
Digestion anaérobie	3.34	6.67	33.37	66.72	200.16	333.59
Lits de séchage	0.05	0.09	0.40	0.77	2.28	3.82
TOTAL (kwh/d)	105.28	160.10	555.26	1028.43	2864.72	4661.96
CAPACITÉ (m3/d)	189	379	1893	3785	11355	18925
ÉNERGIE UTILISÉE (kwh/m3)	0.557	0.422	0.293	0.272	0.252	0.246

<i>Middlebrooks et al. (1981)</i>						
Tableau XIV-B. Consommation électrique (%) pour les stations d'épuration de type biofiltration						
Unité de traitement						
Pompage des eaux usées	6.64	7.20	9.58	8.99	9.03	8.97
Dégrillage	2.57	2.02	0.99	0.56	0.24	0.16
Comminution	9.41	6.88	3.48	2.17	1.19	0.91
Dessablage (non-aéré)	1.44	0.96	0.42	0.25	0.12	0.08
Décantation primaire	14.00	10.07	5.09	3.16	1.67	1.24
Pompage pour le lit filtrant	20.31	22.74	20.62	28.41	28.86	28.78
Décantation secondaire	17.32	11.84	5.46	3.35	1.83	1.42
Désinfection énergie primaire	4.59	3.92	4.42	4.32	4.89	5.12
Désinfection énergie secondaire	16.66	19.01	28.29	27.92	30.28	31.14
Épaississement gravitaire	0.19	0.22	0.30	0.28	0.29	0.28
Digestion anaérobie	6.75	7.69	11.44	11.29	12.24	12.59
Lits de séchage	0.09	0.10	0.14	0.13	0.14	0.14
TOTAL (kwh/d)	49.50	80.39	263.10	536.89	1484.12	2406.64
CAPACITÉ (m3/d)	189	379	1893	3785	11355	18925
ÉNERGIE UTILISÉE (kwh/m3)	0.262	0.212	0.139	0.142	0.131	0.127

<i>Middlebrooks et al. (1981)</i>						
Tableau XV-B. Consommation électrique (%) pour les stations d'épuration de type biodisques						
Unité de traitement						
Pompage des eaux usées	6.65	7.74	9.22	9.34	9.16	8.98
Dégrillage	2.58	2.17	0.95	0.58	0.25	0.16
Comminution	9.42	7.40	3.35	2.25	1.20	0.91
Dessablage (non-aéré)	1.44	1.04	0.41	0.26	0.12	0.08
Décantation primaire	14.02	10.84	4.90	3.28	1.69	1.24
Biodisques	20.23	24.80	33.01	35.15	37.21	37.82
Décantation secondaire	17.34	12.74	5.25	3.48	1.86	1.42
Désinfection énergie primaire	4.60	4.21	4.25	4.49	4.96	5.13
Désinfection énergie secondaire	16.68	20.45	27.23	29.00	30.70	31.20
Épaississement gravitaire	0.19	0.23	0.29	0.29	0.29	0.28
Digestion anaérobie	6.76	8.27	11.01	11.73	12.41	12.62
Lits de séchage	0.09	0.11	0.13	0.14	0.14	0.14
TOTAL (kwh/d)	49.44	80.66	302.96	568.95	1612.34	2644.18
CAPACITÉ (m3/d)	189	379	1893	3785	11355	18925
ÉNERGIE UTILISÉE (kwh/m3)	0.262	0.213	0.160	0.150	0.142	0.140

<i>Middlebrooks et al. (1981)</i>						
Tableau XVI-B. Consommation électrique (%) pour les stations d'épuration de type boues activées						
Unité de traitement						
Pompage des eaux usées	3.12	3.90	5.03	5.17	5.15	5.10
Dégrillage	1.21	1.10	0.52	0.32	0.14	0.09
Comminution	4.42	3.73	1.83	1.25	0.68	0.52
Dessablage (aéré)	27.61	19.51	6.06	3.54	1.70	1.33
Décantation primaire	6.58	5.46	2.67	1.82	0.95	0.70
Aération des boues activées	20.82	27.38	39.47	42.62	45.91	47.01
Décantation secondaire	11.63	8.57	5.13	4.37	3.54	3.22
Désinfection énergie primaire	2.16	2.12	2.32	2.49	2.79	2.91
Désinfection énergie secondaire	7.83	10.30	14.86	16.05	17.28	17.70
Épaississement gravitaire	0.09	0.12	0.16	0.16	0.17	0.16
Flottation à l'air dissous	11.29	13.59	15.87	15.66	14.62	14.01
Digestion anaérobie	3.17	4.17	6.01	6.49	6.99	7.16
Lits de séchage	0.04	0.05	0.07	0.08	0.08	0.08
TOTAL (kwh/d)	105.28	160.10	555.26	1028.43	2864.72	4661.96
CAPACITÉ (m3/d)	189	379	1893	3785	11355	18925
ÉNERGIE UTILISÉE (kwh/m3)	0.557	0.422	0.293	0.272	0.252	0.246

<i>Middlebrooks et al. (1981)</i>						
Tableau XIV-C. Consommation électrique (KWh/m3) pour les stations d'épuration de type biofiltration						
Unité de traitement						
Pompage des eaux usées	0.0174	0.0165	0.0148	0.0140	0.0130	0.0126
Dégrillage	0.0067	0.0046	0.0015	0.0009	0.0003	0.0002
Comminution	0.0246	0.0158	0.0054	0.0034	0.0017	0.0013
Dessablage (non-aéré)	0.0038	0.0022	0.0007	0.0004	0.0002	0.0001
Décantation primaire	0.0367	0.0231	0.0078	0.0049	0.0024	0.0017
Pompage pour le lit filtrant	0.0532	0.0520	0.0318	0.0444	0.0415	0.0403
Décantation secondaire	0.0454	0.0271	0.0084	0.0052	0.0026	0.0020
Désinfection énergie primaire	0.0120	0.0090	0.0068	0.0068	0.0070	0.0072
Désinfection énergie secondaire	0.0436	0.0435	0.0436	0.0436	0.0436	0.0436
Épaississement gravitaire	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004
Digestion anaérobie	0.0177	0.0176	0.0176	0.0176	0.0176	0.0176
Lits de séchage	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
TOTAL (kwh/d)	49.50	80.39	263.10	536.89	1484.12	2406.64
CAPACITÉ (m3/d)	189	379	1893	3785	11355	18925
ÉNERGIE UTILISÉE (kwh/m3)	0.262	0.212	0.139	0.142	0.131	0.127

<i>Middlebrooks et al. (1981)</i>						
Tableau XV-C. Consommation électrique (KWh/m³) pour les stations d'épuration de type biodisques						
Unité de traitement						
Pompage des eaux usées	0.0174	0.0165	0.0148	0.0140	0.0130	0.0126
Dégrillage	0.0067	0.0046	0.0015	0.0009	0.0003	0.0002
Comminution	0.0246	0.0158	0.0054	0.0034	0.0017	0.0013
Dessablage (non-aéré)	0.0038	0.0022	0.0007	0.0004	0.0002	0.0001
Décantation primaire	0.0367	0.0231	0.0078	0.0049	0.0024	0.0017
Biodisques	0.0529	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528
Décantation secondaire	0.0454	0.0271	0.0084	0.0052	0.0026	0.0020
Désinfection énergie primaire	0.0120	0.0090	0.0068	0.0068	0.0070	0.0072
Désinfection énergie secondaire	0.0436	0.0435	0.0436	0.0436	0.0436	0.0436
Épaississement gravitaire	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004
Digestion anaérobie	0.0177	0.0176	0.0176	0.0176	0.0176	0.0176
Lits de séchage	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
TOTAL (kwh/d)	49.44	80.66	302.96	568.95	1612.34	2644.18
CAPACITÉ (m ³ /d)	189	379	1893	3785	11355	18925
ÉNERGIE UTILISÉE (kwh/m ³)	0.262	0.213	0.160	0.150	0.142	0.140

<i>Middlebrooks et al. (1981)</i>						
Tableau XVI-C. Consommation électrique (KWh/m3) pour les stations d'épuration de type boues activées						
Unité de traitement						
Pompage des eaux usées	0.0174	0.0165	0.0148	0.0140	0.0130	0.0126
Dégrillage	0.0067	0.0046	0.0015	0.0009	0.0003	0.0002
Comminution	0.0246	0.0158	0.0054	0.0034	0.0017	0.0013
Dessablage (aéré)	0.1538	0.0824	0.0178	0.0096	0.0043	0.0033
Décantation primaire	0.0367	0.0231	0.0078	0.0049	0.0024	0.0017
Aération des boues activées	0.1160	0.1157	0.1158	0.1158	0.1158	0.1158
Décantation secondaire	0.0648	0.0362	0.0150	0.0119	0.0089	0.0079
Désinfection énergie primaire	0.0120	0.0090	0.0068	0.0068	0.0070	0.0072
Désinfection énergie secondaire	0.0436	0.0435	0.0436	0.0436	0.0436	0.0436
Épaississement gravitaire	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004
Flottation à l'air dissous	0.0629	0.0574	0.0466	0.0426	0.0369	0.0345
Digestion anaérobie	0.0177	0.0176	0.0176	0.0176	0.0176	0.0176
Lits de séchage	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
TOTAL (kwh/d)	105.28	160.10	555.26	1028.43	2864.72	4661.96
CAPACITÉ (m3/d)	189	379	1893	3785	11355	18925
ÉNERGIE UTILISÉE (kwh/m3)	0.557	0.422	0.293	0.272	0.252	0.246

<i>Owen (1982)</i>					
Tableau XVII. Consommation électrique annuelle pour le traitement des eaux usées municipales aux États-Unis					
Procédés de traitement	Nb d'unités	Débit moyen (m3/d)	Débit total (m3/d)	CE (kWh/d)	EEH (kWh/m3)
<i>Traitement des eaux usées</i>					
Pompage (TH = 35 pieds)	10420	8329	88153224	4495712	0.05100
Dégrillage	14419	7193	105958782	56099	0.00053
Dessablage	7142	12494	89724414	279188	0.00311
Comminuteur (broyage)	5791	7572	43376202	98629	0.00227
Pré-aération	533	40132	21451476	537502	0.02506
Décantation primaire	9360	10601	97500858	246312	0.00253
Lit filtrant (roche)	2957	6436	18937572	1435601	0.07581
Lit filtrant (synthétique)	194	21959	4251678	564117	0.13268
Disques biologiques	555	8708	4732500	756678	0.15989
Boues activées conventionnelles	7372	14008	102237144	18603848	0.18197
Boues activées rendement élevé	61	6815	4232748	738414	0.17445
Boues activées stabilisation par contact	1197	9086	10850676	2056077	0.18949
Boues activées à aération prolongée	5255	1893	9567222	4592254	0.48000
Boues activées à l'oxygène pur	120	155226	18543828	2108262	0.11369
Filtration tertiaire	5991	7572	45166980	720149	0.01594
Charbon activé granulaire	47	56790	2699418	174558	0.06466
Chaulage (deux étapes)	82	12115	1003290	98890	0.09857
Chaulage (première étape)	195	23852	4645422	130201	0.02803
Recarbonation	81	14387	1169874	150814	0.12891
Ajout d'alun	943	16280	15204576	414868	0.02729
Ajout de chlorure ferrique	399	18930	7617432	130984	0.01720
Nitrification	1646	19687	32237790	3183267	0.09874
Denitrification	279	23473	6595212	500973	0.07596
Point d'arrêt de la chloration	191	24609	4671924	2635328	0.56408
Enlèvement de l'ammoniac	150	5679	836706	393995	0.47089
Chloration	13441	5679	77056458	4383515	0.05689
Ozonation	36	49218	1741560	18265	0.01049
Épandage sur les terres (effluent primaire)	142	1136	166584	34181	0.20519
Épandage sur les terres (effluent secondaire)	819	5679	4713570	965417	0.20482
Épandage sur les terres (effluent d'étangs)	151	1893	306666	62883	0.20505
Étangs aérés	11850	1514	17638974	10019464	0.56803
Lagunage	925	1514	1484112	516629	0.34811
Post-aération	1547	9086	13777254	1311141	0.09517
Pompage (outfall, TH 10 pieds)	488	31802	15537744	226482	0.01458
<i>Traitement des boues d'épuration</i>					
Digestion aérobie	5476	4543	24427272	9628078	0.39415
Digestion aérobie à l'oxygène pur	79	14387	1143372	360074	0.31492
Digestion anaérobie	6747	11358	75341400	3425926	0.04547
Oxydation par chloration	50	28774	1446252	213696	0.14776
Stabilisation à la chaux	94	26881	2536620	46183	0.01821
Séchage à l'air et au soleil	11000	4922	52602684	63665	0.00121
Filtre sous vide	1921	28395	54563832	848001	0.01554
Centrifugeuse	253	68148	17691978	268751	0.01519
Filtres-presses	158	35210	5535132	1300704	0.23499
Autres techniques de déshydratation	34	45432	1590120	47488	0.02986
Épaississement gravitaire	940	41646	38041728	30006	0.00079
Flottation à l'air dissous	313	60576	19354032	1028039	0.05312
Incinération	482	64362	30912690	81930	0.00265
Incinération sur lit fluidisé	18	41646	715554	146378	0.20457
Pyrolyse	19	378600	7174470	2478774	0.34550
Recalcination	56	49218	2794068	125765	0.04501
Sous-total (traitement des eaux usées)				62640695	
Sous-total (traitement des boues)				20093460	
TOTAL				82734155	