



Victoriaville

**ÉTUDE DES PROBLÈMES LIÉS AUX ALGUES ET AUX
MACROPHYTES DANS LE RÉSERVOIR BEAUDET,
VICTORIAVILLE.**



ROCHE



Victoriaville

**ÉTUDE DES PROBLÈMES LIÉS AUX ALGUES ET AUX
MACROPHYTES DANS LE RÉSERVOIR BEAUDET,
VICTORIAVILLE.**

septembre 1995



3075, ch. des Quatre-Bourgeois
Sainte-Foy (Québec)
Canada G1W 4Y4
Téléphone:
(418) 654-8600
Télécopieur:
(418) 654-9699

ÉQUIPE DE TRAVAIL

Vital Boulé, M.Sc. biologiste, chargé de projet

Marie-Claude Blanchet, technicienne en architecture

France Boucher, secrétaire

Michel Brousseau, technicien en cartographie

Nancy Casault, technicienne en cartographie

Patricia Clavet, ingénieure hydraulicienne

Mylène D'Aoust, M.Sc. agronome

Denis Gravel, M.Sc. ingénieur civil

Hélène Marquis, M.Sc. biologiste

Claude Vézina, M.A., M.Sc. biologiste
Directeur de projet

TABLE DES MATIÈRES

Équipe de travail	i
Table des matières	ii
Liste des figures	v
Liste des tableaux	vi
Liste des cartes (en pochette)	vii
1.0 CONTEXTE	1
2.0 MILIEU PHYSIQUE	4
2.1 Conditions climatiques	4
2.1.1 Températures, précipitations et évapotranspiration potentielle	5
2.1.2 Vents	7
2.2 Bathymétrie et morphologie du réservoir	10
2.3 Régime hydrique et sédimentologique	13
2.3.1 Régime hydrique	13
2.3.2 Régime sédimentologique	19
2.4 Qualité de l'eau	21
2.4.1 Réservoir Beaudet	21
2.4.2 Rivière Bulstrode	24
2.5 Qualité des sédiments	27
3.0 MILIEU BIOLOGIQUE	30
3.1 Phytoplancton	30
3.2 Plantes aquatiques	31
3.3 Poissons	35
4.0 BILAN HYDRIQUE	37
4.1 Apports en eau	38
4.2 Pertes en eau	38
4.3 Bilan hydrique total	40
5.0 ÉLÉMENTS NUTRITIFS	41
5.1 Rivière Bulstrode	41
5.1.1 Sources diffuses	41
5.1.2 Sources ponctuelles	42
5.2 Réservoir Beaudet	44
5.2.1 Ruissellement du parc industriel	44
5.2.2 Sédiments	45
5.2.3 Autres sources	46

TABLE DES MATIÈRES (suite)

6.0	CONTRÔLE DES SOURCES D'ÉLÉMENTS NUTRITIFS	48
6.1	Contrôle à court terme	48
6.1.1	Contrôle de la pollution diffuse d'origine agricole à l'aide de marais artificiels	48
6.1.2	Traitement des eaux de ruissellement du parc industriel	55
6.1.3	Précipitation et inactivation du phosphore	57
6.1.4	Dragage des sédiments	58
6.2	Contrôle à long terme	64
6.2.1	Pollution agricole	64
6.2.2	Pollution domestique	66
7.0	CONTRÔLE DES PLANTES AQUATIQUES	68
7.1	Contrôle physique	68
7.1.1	Récolte mécanique des plantes aquatiques	68
7.1.2	Baisse temporaire du niveau du réservoir	70
7.1.3	Diversion ou refroidissement des eaux de refroidissement de la compagnie Lactantia	70
7.2	Contrôle biologique	72
	Introduction de poissons herbivores	72
7.3	Contrôle chimique	73
	Utilisation d'herbicides	73
8.0	CONTRÔLE DES ALGUES PHYTOPLANCTONIQUES	75
8.1	Contrôle physique	75
8.1.1	Dilution ou lessivage des algues	75
8.1.2	Filtration des algues	75
8.2	Contrôle chimique	76
8.3	Contrôle biologique	76
8.3.1	Introduction de poissons planctivores (phytoplancton)	76
8.3.2	Retrait massif de poissons planctivores (zooplancton)	76
9.0	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	80
9.1	Recommandations générales	80
9.2	Synthèse des techniques de contrôle	81
9.3	Options d'intervention	81
9.4	Comparaison des options et recommandations	98
10.0	RÉFÉRENCES	101

LISTE DES ANNEXES

- ANNEXE 1 Niveaux d'eau journaliers estivaux de la rivière Bulstrode
- ANNEXE 2 Données mensuelles de qualité de l'eau au réservoir Beaudet de 1977 à 1980
- ANNEXE 3 Qualité de l'eau de la rivière Bulstrode
- ANNEXE 4 Drague hydraulique utilisée afin de minimiser la remise en suspension des matériaux dragués
- ANNEXE 5 Barge utilisée pour la récolte mécanique de plantes aquatiques
- ANNEXE 6 Zones considérées dans le calcul des volumes de sédiments à draguer

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Évolution du réservoir Beaudet (Victoriaville) durant la période comprise entre 1965 (avant la conception du réservoir) et 1991	2
Figure 2.1	Températures et précipitations moyennes mensuelles et évapotranspiration potentielle au réservoir Beaudet entre 1969 et 1990	6
Figure 2.2	Évolution mensuelle du niveau du réservoir Beaudet	20
Figure 6.1	Détermination des superficies à draguer selon différentes profondeurs	62
Figure 8.1	Espèces de poissons pouvant faire l'objet d'un programme de retrait massif	78
Figure 8.2	Type de bourolle pouvant être utilisée dans le cadre d'un programme de retrait massif	79
Figure 9.1	Option 1	84
Figure 9.2	Option 2	85
Figure 9.3	Option 3	86
Figure 9.4	Option 4	87
Figure 9.5	Option 5	88
Figure 9.6	Option 6	89
Figure 9.7	Option 7	90
Figure 9.8	Option 8	91
Figure 9.9	Option 5A	92
Figure 9.10	Option 6A	93
Figure 9.11	Option 7A	94
Figure 9.12	Option 8A	95
Figure 9.13	Option 9	96
Figure 9.12	Option 10	97

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1a	Fréquence des vents en fonction des différents points cardinaux	8
Tableau 2.1b	Vitesse des vents en fonction des différents points cardinaux	9
Tableau 2.2	Caractéristiques morphométriques du réservoir Beaudet et de son bassin versant	11
Tableau 2.3	Valeurs chronologiques des débits mensuels de la rivière Bulstrode au réservoir Beaudet	15
Tableau 2.4	Débits journaliers caractéristiques de la rivière Bulstrode au réservoir Beaudet	16
Tableau 2.5	Débit d'étiage durant la période estivale	17
Tableau 2.6	Niveaux d'eau journaliers estivaux de la rivière Bulstrode	18
Tableau 2.7	Données de qualité de l'eau annuelles du réservoir Beaudet entre 1977 et 1993	23
Tableau 2.8	Qualité de l'eau de la rivière Bulstrode entre 1973 et 1991	25
Tableau 2.9	Qualité des sédiments du réservoir Beaudet	28
Tableau 3.1	Abondance relative (%) des principaux organismes phytoplanctoniques échantillonnées en 1979, 1989 et 1990	32
Tableau 3.2	Liste des plantes aquatiques macrophytes et des plantes de prairie humide inventoriées dans la rivière Bulstrode au site du réservoir Beaudet avant sa mise en eau en 1973 et après en 1979	34
Tableau 3.3	Liste des espèces de poissons capturées dans la rivière Bulstrode avant la mise en eau du réservoir (1973) et dans le réservoir Beaudet après sa mise en eau (1979)	36
Tableau 4.1	Bilan hydrique	39
Tableau 5.1	Liste des municipalités du bassin versant de la rivière Bulstrode en amont du réservoir Beaudet	43
Tableau 6.1	Coûts approximatifs pour la construction des marais épurateurs proposés	54
Tableau 6.2	Évaluation des volumes de sédiments à draguer selon les différentes alternatives et coûts associés aux opérations de dragage.	61
Tableau 9.1	Synthèse des diverses techniques de contrôle des éléments nutritifs, des plantes aquatiques et des algues phytoplanctoniques présentées dans le rapport	82
Tableau 9.2	Synthèse des différentes alternatives de contrôle des plantes aquatiques et algues phytoplanctoniques	97

LISTE DES CARTES (en pochette)

- Carte 1 Utilisation du territoire à l'intérieur du bassin versant du réservoir Beaudet
 (en pochette)
- Carte 2 Relevés topographiques effectués en 1974 avant la mise en eau du
 réservoir Beaudet (en pochette)
- Carte 3 Relevés bathymétriques du réservoir Beaudet effectués par le Groupe
 Roche en décembre 1994 (en pochette)
- Carte 4 Zones de prolifération des plantes aquatiques (en pochette)
- Carte 5 Différences existant entre les relevés bathymétriques effectués au réservoir
 Beaudet en décembre 1994 et les relevés topographiques effectués en
 1974 (en pochette)

1.0 CONTEXTE

Avant la création du réservoir Beaudet, la rivière Bulstrode assurait l'approvisionnement en eau de la ville de Victoriaville. Le faible débit de la rivière à l'étiage, de même que la demande croissante d'approvisionnement en eau ne permettaient plus au responsable de la centrale de traitement de l'eau de répondre à la demande. Pour corriger la situation, le ministère des Richesses naturelles en collaboration avec la ville de Victoriaville a construit, en 1977, un barrage-réservoir sur la rivière Bulstrode. Le secteur où le réservoir Beaudet fut créé était, à l'origine, un secteur essentiellement marécageux et agricole qui n'a pas été décapé de sa végétation avant la mise en eau du réservoir (figure 1).

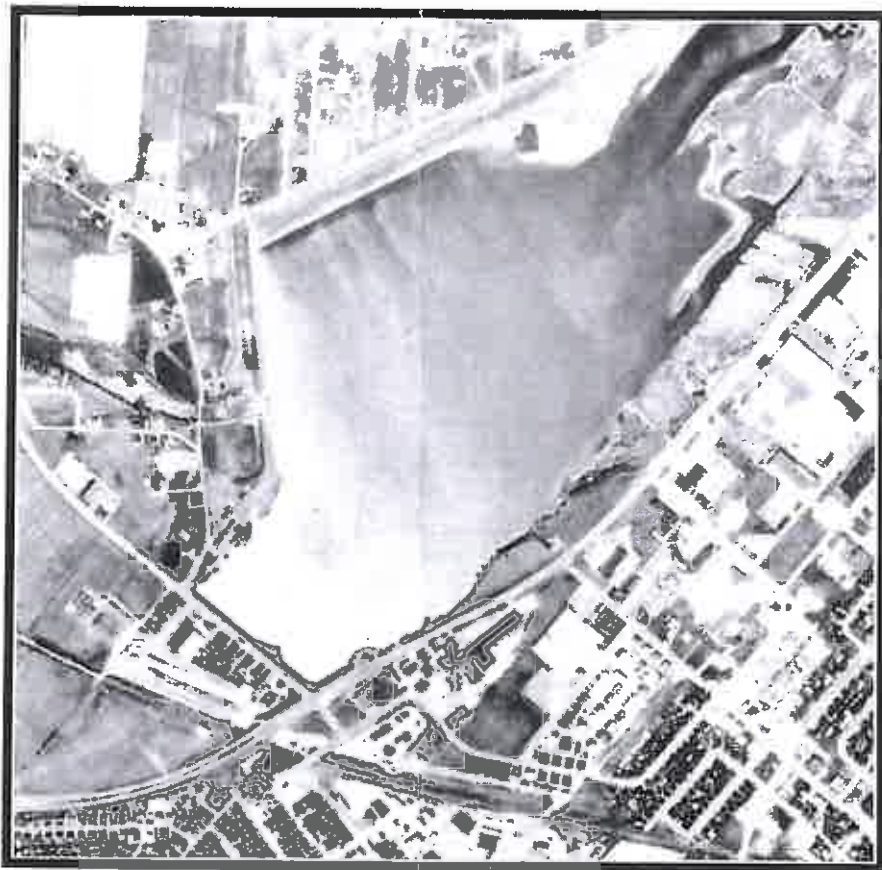
Le réservoir Beaudet possède aujourd'hui une superficie de 0,69 km² et est situé dans un bassin versant de 338 km² dont la portion inférieure est presque entièrement utilisée à des fins agricoles (carte 1 en pochette).

Depuis la création du réservoir, la qualité de l'eau brute s'est détériorée dû à l'intensification de l'activité agricole, ce qui a eu pour effet d'occasionner l'eutrophisation (accélération du processus de vieillissement d'un plan d'eau) du réservoir Beaudet ainsi que la croissance excessive de plantes aquatiques et d'algues phytoplanctoniques. Les résidents de Victoriaville se plaignent d'ailleurs de voir la municipalité puiser son eau potable dans un réservoir qui a l'apparence d'un marais à cause de l'abondance de plantes aquatiques et d'algues phytoplanctoniques. La sédimentation des matières en suspension transportées par la rivière Bulstrode ainsi que celle des algues et plantes aquatiques au fond du réservoir contribuent également à diminuer la capacité d'emmagasinement de celui-ci. Les responsables de l'usine de traitement des eaux craignent d'ailleurs qu'à la longue, le volume d'eau disponible en période de sécheresse ne suffise plus à la demande, qui est toujours croissante.

C'est dans ce contexte que les responsables de la ville de Victoriaville ont mandaté la firme Roche ltée Groupe-conseil, afin de réaliser une étude visant à identifier et à évaluer les méthodes permettant de contrôler la prolifération excessive de plantes aquatiques et algues phytoplanctoniques dans le réservoir Beaudet.

FIGURE 1

Évolution du réservoir Beaudet (Victoriaville), durant la période comprise entre 1965 (avant la conception du réservoir) et 1991



Date	Juin 1965	Mai 1985	Août 1991
Échelle	± 1 : 9 500	± 1 : 15 000	± 1 : 15 000

De façon plus précise, les objectifs du présent rapport sont de:

- 1) statuer sur les causes du problème;
- 2) identifier des solutions (à court et long terme) pour contrôler les sources d'éléments nutritifs originant du bassin versant du réservoir;
- 3) identifier des solutions permettant de contrôler l'établissement et la croissance excessive des plantes aquatiques dans le réservoir;
- 4) identifier des solutions visant à contrôler la croissance excessive des algues phytoplanctoniques dans le réservoir;
- 5) formuler des recommandations visant à prolonger l'utilisation du réservoir Beaudet comme source d'eau potable dans une perspective de développement à long terme;
- 6) formuler un plan de mise en application des mesures d'intervention et faire une évaluation préliminaire des coûts associés aux mesures proposées.

2.0 MILIEU PHYSIQUE

La section qui suit a pour but de traiter des composantes du milieu physique qui ont une influence sur l'établissement, la croissance et la propagation des plantes aquatiques et des algues phytoplanctoniques du réservoir Beaudet. Dans certains cas, la composante du milieu peut avoir une influence directe sur les végétaux (température, vents, qualité de l'eau, etc.) et dans d'autres cas, une influence indirecte (hydrologie, précipitations, qualité des sédiments, via la disponibilité des éléments nutritifs).

La section traitera entre autres des facteurs climatiques, de la bathymétrie et de la morphologie du réservoir, du régime hydrique et sédimentologique, de la qualité de l'eau et des sédiments du réservoir.

2.1 Conditions climatiques

Le climat influence la productivité des lacs et réservoirs en agissant sur l'apport annuel d'eau et d'énergie au réservoir, sur l'hydrologie du bassin versant et sur le taux de renouvellement de l'eau, ainsi que sur le transport des nutriments et sédiments vers le plan d'eau (Barnes & Mann, 1980).

Les conditions climatiques propres à la région de Victoriaville sont celles des Basses Terres du Saint-Laurent, conditions correspondant au type de climat tempéré à caractère continental. L'analyse d'ensemble de ces conditions dans le secteur à l'étude repose sur la description de quatre paramètres, soit la température, les précipitations, les vents ainsi que l'évapotranspiration potentielle.

Comme il n'existe pas d'information météorologique concernant ces paramètres dans la région immédiate du réservoir Beaudet les données utilisées proviennent de la Direction des Réseaux atmosphériques du ministère de l'Environnement et de la Faune (MEF), station météorologique

no. 07020305 située à Arthabaska. Les données enregistrées à cette station sont fiables puisqu'elles couvrent plusieurs années (1969-1990).

2.1.1 Températures, précipitations et évapotranspiration potentielle

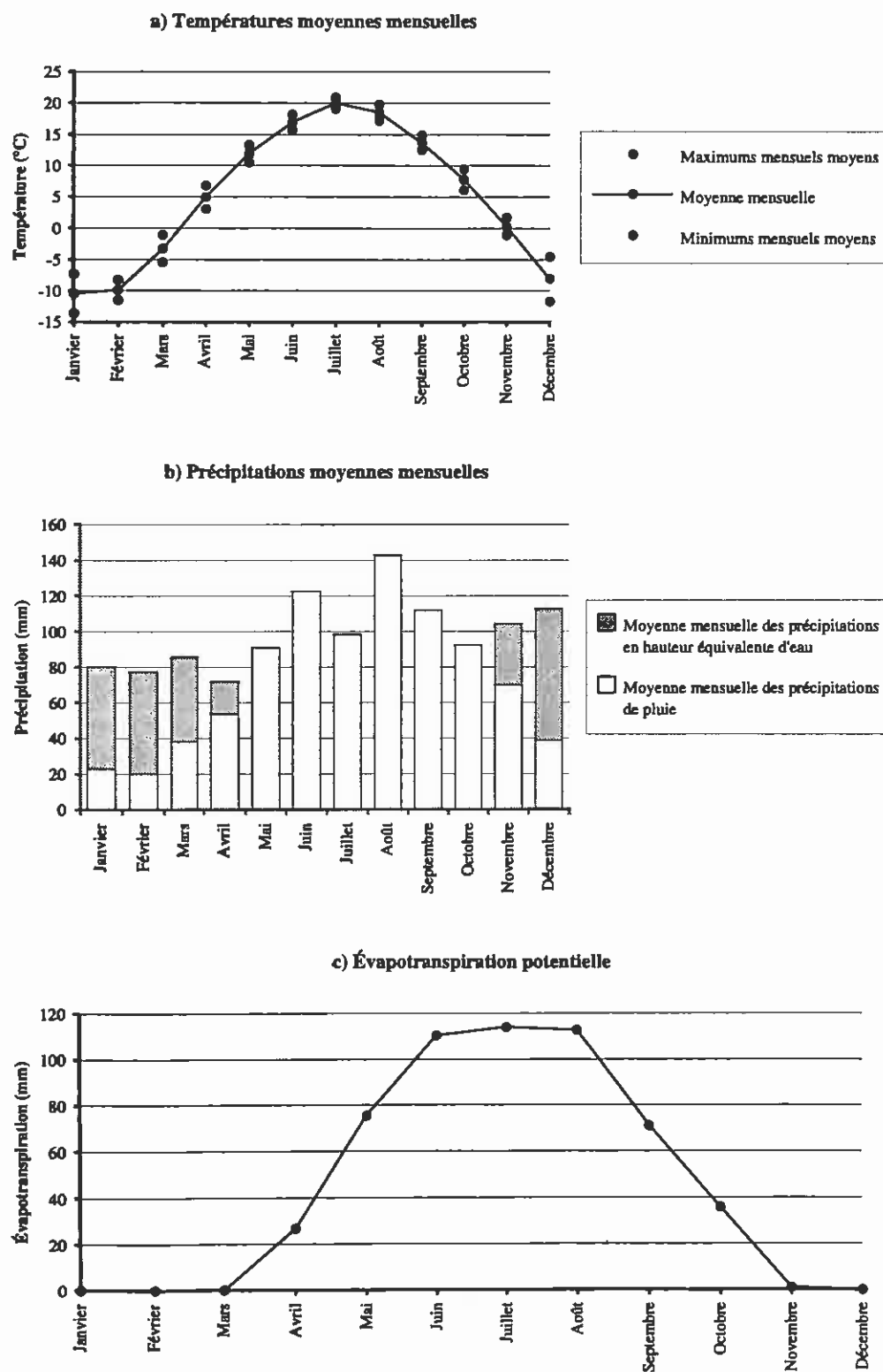
La température annuelle moyenne dans la région de Victoriaville est de 5,21 C°. La figure 2.1a présente, sur une base mensuelle, la température moyenne de l'air ainsi que les moyennes des températures maximales et minimales.

Les températures moyennes sont supérieures au point de congélation entre avril et novembre et les températures les plus élevées sont habituellement enregistrées pendant le mois de juillet (19,94°C). La grande superficie, la faible profondeur et l'exposition totale au soleil du réservoir Beaudet sont des caractéristiques qui peuvent provoquer un échange considérable entre la température de l'air et celle de la masse d'eau, particulièrement pendant la saison estivale. Puisque la température de l'eau est un facteur qui influence le développement des plantes aquatiques, plus particulièrement celui des algues, il n'est pas surprenant d'observer un développement rapide des végétaux pendant l'été dans le réservoir Beaudet.

La figure 2.1b illustre, sous forme d'histogramme, les moyennes mensuelles des précipitations de pluie et de neige. Annuellement, les précipitations totalisent 1204,2 mm pour la région à l'étude: 899,98 mm tombent sous forme de pluie tandis que les précipitations de neige (304,39 cm), ramenées en hauteur d'eau équivalente, représentent 304,22 mm. Le mois possédant la plus forte pluviosité est août alors qu'il tombe en moyenne près de 143 mm de pluie. Les précipitations significatives de neige commencent en novembre et se terminent en avril. Les précipitations annuelles contribuent significativement au renouvellement de l'eau dans le réservoir.

FIGURE 2.1

Températures, précipitations moyennes mensuelles et évapotranspiration potentielle au réservoir Beaudet entre 1969 et 1990



SOURCE: Direction des réseaux atmosphériques, MEF, 1994

L'évapotranspiration potentielle représente la quantité maximale d'eau susceptible d'être évaporée, sous un climat donné, par un couvert végétal largement alimenté en eau. Elle englobe d'une part, l'évaporation du sol et d'autre part, la transpiration des végétaux. La hauteur de la lame d'eau ainsi "évapotranspirée" sur un bassin versant, pendant une période déterminée, représente son évaporation totale au cours de cette période (Rémérias, 1972). Sur une base annuelle, l'évapotranspiration représente, dans la région de Victoriaville, près de 565 mm/année (figure 2.1c). Elle est plus importante pendant le mois de juillet où elle atteint 132 mm.

2.1.2 Vents

La direction et la force des vents sont des paramètres importants dans la problématique à l'étude. En effet, les vents influencent à la fois la courantométrie à l'intérieur d'un réservoir, et le métabolisme des lacs et des réservoirs par la pénétration de la chaleur et la stratification de même que par la pénétration et la demande en oxygène.

Les données sur les vents proviennent de la station météorologique du MEF d'Arthabaska. Elles ont été enregistrées sur une période de 6 ans. L'intensité moyenne des vents et la distribution directionnelle de leur fréquence sont compilées aux tableaux 2.1a et 2.1b.

Bien que les données enregistrées à cette station ne couvrent pas une longue période, les tableaux 2.1a et 2.1b permettent de mettre en évidence que les vents les plus violents surviennent au cours de la saison hivernale et proviennent habituellement du sud. En période estivale, les vents dominants soufflent dans la même direction bien que leur vitesse moyenne soit plus faible. C'est en juillet que les vents sont les plus faibles. Cette période correspond également à une période d'étiage sévère, où les températures sont les plus élevées. Le mois de juillet est donc particulièrement propice aux baisses localisées des concentrations en oxygène dues à l'activité photosynthétique des plantes aquatiques et des algues phytoplanctoniques ainsi qu'à la demande en oxygène engendrée par les processus de décomposition de la matière organique. La direction des vents dominants pourrait occasionner une accumulation de plantes aquatiques flottantes à l'extrémité nord du réservoir.

TABEAU 2.1A
Fréquence (%) des vents en fonction des différents points cardinaux

Mois	Rose des vents								
	Fréquence par direction								
	NORD	NE	EST	SE	SUD	SO	OUEST	NO	CALME
Janvier	5,81	5,48	4,19	3,55	32,26	26,45	9,35	4,52	8,39
Février	7,47	5,34	5,34	2,14	27,40	27,05	12,46	2,85	9,96
Mars	10,65	6,77	3,55	0,65	25,48	18,71	10,97	3,23	20,00
Avril	17,73	12,37	5,69	5,02	18,06	12,04	10,03	5,69	13,38
Mai	8,06	9,03	5,48	2,90	23,23	17,74	10,97	5,81	16,77
Juin	6,02	5,35	4,68	2,68	28,76	16,39	14,38	4,01	17,73
Juillet	2,26	3,87	2,58	1,29	25,81	20,97	15,48	1,94	25,81
Août	1,61	1,29	4,84	3,23	25,48	18,71	14,52	3,23	27,10
Septembre	1,67	2,33	4,00	2,67	25,33	23,67	10,33	2,67	27,33
Octobre	7,07	3,53	3,26	1,63	29,89	20,11	13,59	4,35	16,58
Novembre	6,41	5,85	3,34	3,62	29,25	20,61	14,48	5,57	10,86
Décembre	6,18	3,76	5,65	4,57	30,38	27,42	8,06	3,76	10,22
Annuel	6,71	5,36	4,36	2,85	26,93	20,90	12,04	4,00	16,85
Hiver	6,44	4,78	5,09	3,53	30,11	27,00	9,76	3,74	9,55
Printemps	12,08	9,36	4,90	2,83	22,31	16,21	10,66	4,90	16,76
Été	3,26	3,48	4,03	2,39	26,66	18,72	14,80	3,05	23,61
Automne	5,26	3,99	3,51	2,63	28,33	21,32	12,95	4,28	17,72

SOURCE : Direction des réseaux atmosphériques, station 702C305, Arthabaska

TABLEAU 2.1B
Vitesse des vents en fonction des différents points cardinaux

Mois	Rose des vents								MOYENNE	ÉCART-TYPE
	Vitesse moyenne par direction (km/h)									
	NORD	NE	EST	SE	SUD	SO	OUEST	NO		
Janvier	23,06	20,18	13,23	16,18	20,58	24,73	16,45	22,71	19,32	12,40
Février	18,00	15,80	11,07	9,17	15,58	21,53	17,37	21,63	15,85	10,78
Mars	21,27	17,62	13,36	19,00	17,46	25,41	16,24	22,00	15,75	11,85
Avril	19,43	19,46	16,71	24,67	19,07	24,17	16,20	24,00	17,38	11,44
Mai	18,00	22,11	17,35	17,11	20,56	23,64	18,71	20,94	17,13	12,50
Juin	20,11	18,75	17,50	24,38	22,15	22,37	19,95	24,50	17,58	12,43
Juillet	25,00	20,33	16,88	16,25	17,01	17,88	15,21	23,33	12,94	10,41
Août	22,60	17,00	14,40	22,30	17,77	20,62	16,00	24,60	13,50	10,99
Septembre	19,60	19,29	13,17	20,75	21,87	21,38	16,39	18,13	14,63	13,16
Octobre	17,81	19,23	11,50	21,33	21,93	20,14	13,66	18,50	15,92	12,71
Novembre	19,52	16,71	14,42	19,08	22,13	24,36	18,52	17,30	18,54	12,57
Décembre	21,39	16,14	10,05	20,53	20,46	23,32	21,80	22,14	18,64	11,55
Annuel	19,95	18,84	14,01	19,90	19,91	22,44	17,08	21,39	16,49	12,11
Hiver	20,73	17,52	11,20	17,12	19,21	23,24	18,50	22,25	18,04	11,71
Printemps	19,66	19,87	16,13	21,62	18,97	24,46	17,08	22,33	16,75	11,96
Été	21,67	19,13	16,11	21,95	19,06	20,08	16,97	24,29	14,64	11,48
Automne	18,70	17,95	13,03	20,07	21,99	21,97	16,20	17,89	16,46	12,90

SOURCE : Direction des réseaux atmosphériques, station 702C305, Arthabaska

2.2 Bathymétrie et morphologie du réservoir

La bathymétrie (profondeur) et la morphométrie d'un plan d'eau ainsi que les caractéristiques de son bassin versant sont des facteurs qui influencent beaucoup sa susceptibilité à l'eutrophisation et à la prolifération d'algues et de plantes aquatiques. Le tableau 2.2 présente les caractéristiques propres au réservoir Beaudet et à son bassin versant.

L'ensemble des données disponibles sur la bathymétrie du réservoir Beaudet provient des relevés topographiques effectués avant la mise en eau du réservoir en 1974 ainsi que des relevés bathymétriques effectués par Roche Ltée, en décembre 1994 (cartes 2 et 3 en pochette). Ces derniers ont été réalisés sous le couvert de glace à l'aide d'un géoradar. Le positionnement précis des points de mesures était assuré par un système de positionnement par satellite "Wild GPS Système 200 de Leica" utilisé en mode différentiel. Près de 2400 points de mesure, référés en coordonnées x, y, z au repère géodésique, ont été relevés. Les objectifs de ces relevés étaient d'une part d'établir précisément, les dimensions des hauts-fonds, des fosses et des chenaux d'écoulement et d'autre part, d'identifier les zones de faible profondeur qui favorisent généralement l'établissement des plantes aquatiques.

Le réservoir Beaudet est un réservoir artificiel peu profond, dont la profondeur moyenne est de 1,76 m et la profondeur maximale, de l'ordre de 5,6 m (tableau 2.2). Les zones profondes se situent dans l'ancien lit de la rivière Bulstrode (carte 3, en pochette). Le réservoir est partiellement entouré d'une digue étanche (cote 131,34 m) et possède à son embouchure un ouvrage hydraulique en béton composé de trois vannes de fond (exutoire). L'exutoire du réservoir laisse déverser l'eau en aval du barrage à partir de la cote 128,78 m. La faible superficie du réservoir (0,69 km²), associée à de faibles profondeurs (moyenne de 1,76 m), se traduit par une capacité minimale d'emmagasiner de 1 215 000 m³ à la cote 128,78 m (N. Juneau inc., 1995).

TABLEAU 2.2

Caractéristiques morphométriques du réservoir
Beaudet et de son bassin versant

	1979	1994
Superficie du réservoir	0,69 km ²	0,69 km ²
Volume du réservoir	1,70 x 10 ⁶ m ³	1,215 x 10 ⁶ m ³
Profondeur maximale du réservoir	6,50 m	5,60 m
Profondeur moyenne du réservoir	2,45 m	1,76 m
Niveau du déversoir	—	128,78 m
Niveau minimum journalier depuis 1976	—	126,67 m (13 décembre 1977)
Niveau maximum journalier depuis 1976	—	130,33 m (25 mars 1979)
Niveau maximum instantané depuis 1976	—	130,90 m (29 mars 1989 à 7:30)
Superficie du bassin versant	326 km ²	338 km ²
Débit de la rivière Bulstrode à l'étiage	1,0 m ³ /s	1,0 m ³ /s
Débit de la rivière Bulstrode en crue	63 - 70 m ³ /s	65 m ³ /s
Débit module (18 ans)	—	8,41 m ³ /s
Débit maximum journalier (depuis 1971)	—	263 m ³ /s (29 mars 1989)
Débit minimum journalier (depuis 1971)	—	0,020 m ³ /s (23 septembre 1983)

SOURCE: Desrochers et al. (1979), Roche (1994) et MEF (1994)

Le chenal d'écoulement principal de l'ancien lit de la rivière Bulstrode, son principal tributaire, demeure toujours bien délimité. On y retrouve des profondeurs de 1,5 à 5,6 m au niveau d'eau correspondant au jour des relevés bathymétriques, soit 128,93 m (16 décembre 1994). Les secteurs les moins profonds se trouvent à l'extrémité sud du réservoir, en bordure de la rive ouest ainsi qu'à l'entrée du réservoir où l'on observe un haut-fond important. Un petit bras marécageux peu profond est situé à l'extrémité est du réservoir. Sa présence s'explique par le fait que celui-ci reçoit les eaux de drainage d'une partie du parc industriel.

Les plantes aquatiques privilégient particulièrement les secteurs peu profonds et présentant des sédiments fins. Les éléments nutritifs qui alimentent la croissance des plantes aquatiques ont généralement tendance à s'associer à ce type de matériel et à s'accumuler dans les zones de sédimentation. On peut d'ailleurs observer des zones particulièrement denses de plantes aquatiques dans les secteurs peu profonds du réservoir (carte 4, en pochette).

Lorsqu'on compare la carte bathymétrique de 1994 aux relevés topographiques de 1974, on s'aperçoit que certaines zones sont moins profondes qu'en 1974 (carte 5, en pochette). On peut également constater qu'à l'extrémité ouest, le réservoir est de 0,5 à 1,5 m moins profond qu'en 1974.

Dans son ensemble, la bathymétrie du réservoir Beaudet est idéale pour le développement de plantes aquatiques. Il existe trois grands groupes de plantes aquatiques susceptibles de coloniser le réservoir Beaudet: les plantes émergentes (profondeur: 0 à 0,75 m, exemple: les quenouilles, les scirpes, les sagittaires), les plantes flottantes (profondeur: 0,5 à 3 m, exemple: les nénuphars, les nymphées) et les plantes submergées (profondeur: 0 à 5 m, exemple: les algues, l'élodée, le potamot).

L'ensemble des profondeurs observées dans le réservoir Beaudet convient à l'un ou l'autre de ces groupes de plantes. Avec les faibles profondeurs enregistrées (profondeur moyenne de 1,76 m), la proportion du réservoir dans laquelle le développement des plantes aquatiques est peu probable est très faible.

Les rives du réservoir sont caractérisées par une pente très douce et une profondeur d'eau d'environ 0,3 m et ce, jusqu'à une distance de plusieurs mètres de la ligne du rivage. Ce secteur est idéal pour le développement des plantes émergentes qui peuvent développer un couvert végétal aérien très dense et vigoureux. Par contre, on retrouve une profondeur d'eau variant entre 1 et 1,5 m sur les rives qui ont fait l'objet de stabilisation par enrochement. Ces rives sont moins propices au développement des plantes émergentes mais peuvent abriter des plantes flottantes ou submergées si les conditions de croissance sont idéales (lumière, nutriments, débit).

La vitesse des courants est un facteur limitant pour l'établissement des plantes aquatiques. L'écoulement principal se situant dans l'ancien chenal de la rivière Bulstrode, le développement des plantes aquatiques sera donc favorisé dans le reste du réservoir où les vitesses sont plus lentes.

2.3 Régime hydrique et sédimentologique

Les aspects hydrauliques et sédimentologiques sont fondamentaux dans l'élaboration de solutions adaptées à la problématique à l'étude. Les conditions hydrauliques locales et le régime hydrologique influencent énormément l'apport en sédiment et en phosphore dans le réservoir.

2.3.1 Régime hydrique

La description des conditions hydriques de la rivière Bulstrode dans le secteur du réservoir Beaudet repose sur la caractérisation des débits, du profil bathymétrique, des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement.

Hydrologie

La rivière Bulstrode possède, au niveau du réservoir Beaudet, un bassin versant de 338 km² (carte 1, en pochette). Les débits de cette rivière sont jaugés le long de son cours à différentes stations hydrométriques du MEF. La station #030106 située à 15,3 km en amont du pont-route

161 à St-Valère est utilisée pour établir les débits du site à l'étude. L'étendue des données sur 17 années permet un traitement statistique relativement fiable. Les bassins versants étant identiques, les débits enregistrés peuvent être directement appliqués au réservoir Beaudet.

Les valeurs chronologiques des débits mensuels sont présentées au tableau 2.3. Ces valeurs permettent de dresser un portrait global de l'hydrologie du réservoir pour chacun des mois de l'année.

Les analyses des crues et étiages ont été réalisées en utilisant respectivement la loi de Gumbel et la loi de type $\log_{10}$ -Pearson-WRC. Ces analyses établissent les débits journaliers pour différents intervalles de récurrence, c'est-à-dire la période de temps moyenne entre les apparitions d'un événement hydrologique d'une grandeur donnée. Les résultats de ces analyses sont résumés dans le tableau 2.4.

Le débit module se situant à $8,41 \text{ m}^3/\text{s}$, on remarque donc d'importantes variations autour de cette valeur; les débits moyens usuels d'étiage et de crue se maintiennent respectivement autour de $0,1$ et $65 \text{ m}^3/\text{s}$. Par ailleurs, en période de forte hydraulité, soit une récurrence de 20 ans et plus, on constate des débits variant entre $0,2$ et plus de $300 \text{ m}^3/\text{s}$.

Durant la saison estivale, la demande en eau potable et la prolifération des plantes aquatiques (macrophytes) sont maximales; cette saison amène également des périodes sévères d'étiage. Les débits d'étiage, entre le 1^{er} juillet et le 30 septembre, sont précisés dans le tableau 2.5.

Niveaux d'eau

L'enregistrement des niveaux d'eau est réalisé au réservoir Beaudet depuis 1977 par le MEF, à la station #030118. Des analyses des niveaux d'eau de crue et d'étiage sur une base annuelle ont été réalisées en utilisant respectivement les lois de Gumbel et de $\log_{10}$ -Pearson3-WRC. Le tableau 2.6 résume les résultats de ces analyses.

TABLEAU 2.3

Valeurs chronologiques des débits mensuels de la rivière Bulstrode au réservoir Beaudet

Mois	Débit minimum mensuel	Débit moyen mensuel	Débit maximum mensuel
	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
Janvier	0,098	4,484	88,7
Février	0,143	5,538	137,0
Mars	0,124	15,462	263,0
Avril	1,430	24,752	203,0
Mai	0,510	7,315	83,4
Juin	0,028	4,442	91,6
Juillet	0,050	2,743	68,5
Août	0,032	5,233	202,0
Septembre	0,020	4,458	137,0
Octobre	0,029	7,789	73,0
Novembre	0,135	11,663	135,0
Décembre	0,160	7,342	179,0
Annuel	0,020	8,406	263,0

SOURCE : Station 7020305 du MEF

TABLEAU 2.4

Débits journaliers caractéristiques de la rivière Bulstrode au réservoir Beaudet

Intervalle de récurrence (ans)	Étiage* (l / s)		
	Nombre de jours consécutifs		
	1	7	30
2	93,9	190,2	527,3
5	41,1	76,2	200,8
10	27,6	46,0	117,0
20	20,3	29,9	73,4
50	14,6	18,2	42,5

Intervalle de récurrence (ans)	Crue** (m ³ / s)		
	Nombre de jours consécutifs		
	1	7	30
2	136,8	61,4	32,2
5	183,5	76,5	39,1
10	214,5	86,6	43,7
20	244,2	96,2	48,1
50	282,6	108,6	53,8

* log10 - Pearson 3, WRC

** Gumbel

TABLEAU 2.5
Débits d'étéage durant la période estivale

Intervalle de récurrence (ans)	Débit* (l / s)			
	Nombre de jours consécutifs			
	1	3	7	10
2	137,74	197,60	289,73	340,56
5	52,19	76,35	106,19	123,87
10	32,18	45,92	60,14	69,44
20	21,85	29,99	36,74	41,91
50	14,32	18,44	20,55	23,04

*log 10 - Pearson 3, WRC

TABLEAU 2.6

Niveaux d'eau journaliers (1ère lecture) de la rivière Bulstrode au réservoir Beaudet

Intervalle de récurrence (ans)	Niveaux d'eau (m) en période d'étiage		
	Nombre de jours consécutifs		
	1	7	30
2	127,55	127,90	128,29
5	127,16	127,49	127,90
10	126,95	127,26	127,66
20	126,78	127,96	127,45
50	126,58	126,94	127,20

Intervalle de récurrence (ans)	Niveaux d'eau (m) en période de crue		
	Nombre de jours consécutifs		
	1	7	30
2	129,88	129,31	129,09
5	130,10	129,40	129,17
10	130,24	129,46	129,22
20	130,33	129,52	129,26
50	130,56	129,59	129,32

Les niveaux d'eau moyens usuels se maintiennent habituellement autour de 127,90 m en étiage et 129,31 m en crue. Quant au niveau moyen annuel, il se maintient à environ 128,60 m. Selon les niveaux enregistrés, le marnage moyen du réservoir semble varier entre 0,08 et 1,40 m annuellement (figure 2.2).

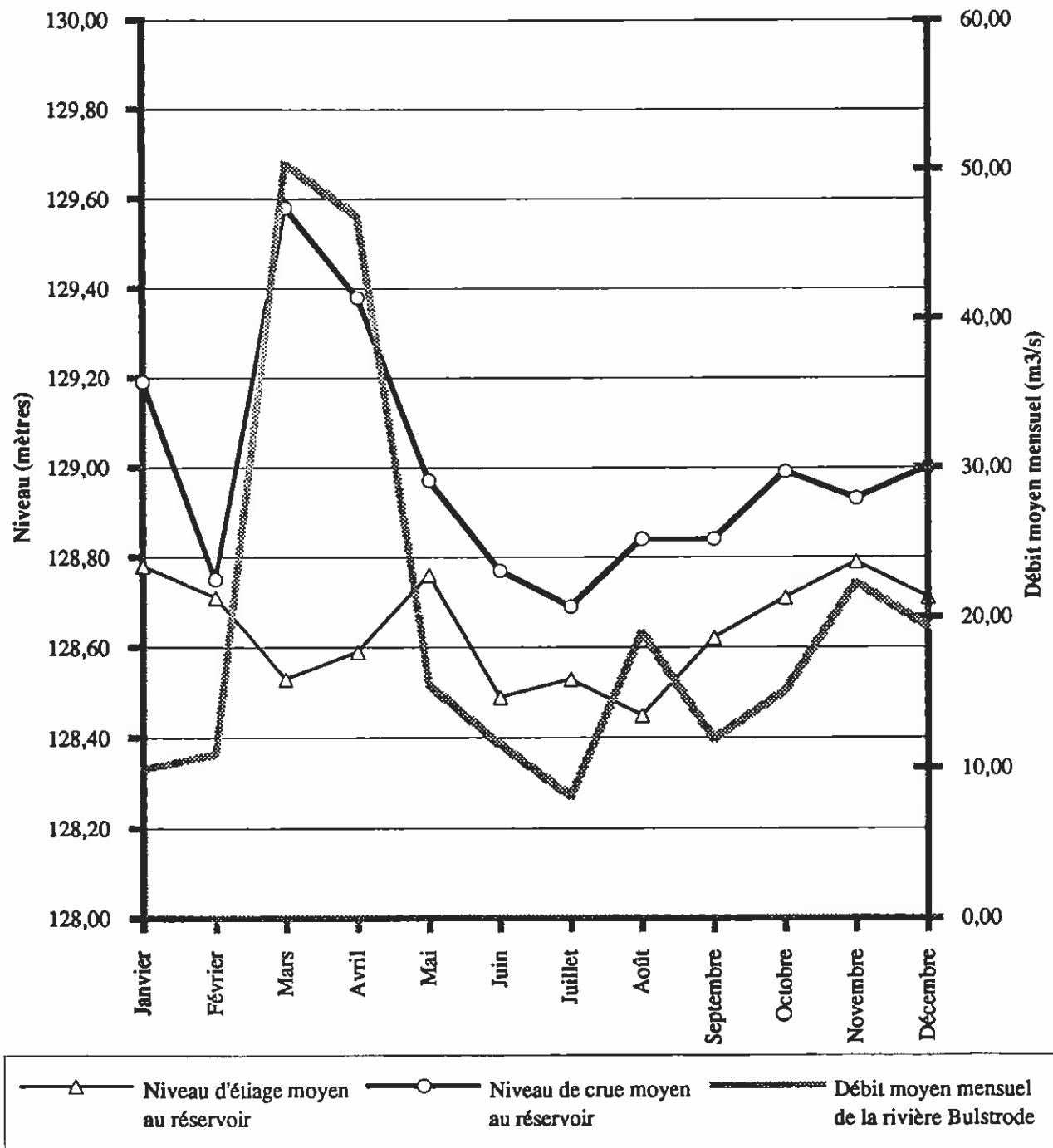
En période estivale, les niveaux d'eau sont très bas en raison d'une part, de la demande en eau potable et, d'autre part, des étiages typiques à cette période. Les niveaux minima estivaux, entre le 1^{er} juillet et le 30 septembre, sont présentés à l'annexe 1. C'est en juillet que les plantes aquatiques et les algues phytoplanctoniques bénéficient des conditions les plus propices à leur croissance. En effet, les faibles débits et niveaux enregistrés au mois de juillet favorisent l'implantation et la croissance des plantes et algues aquatiques puisqu'ils réduisent la profondeur de l'eau et contribuent à son réchauffement.

2.3.2 Régime sédimentologique

Le bassin supérieur de la rivière Bulstrode est situé dans une zone en majorité boisée tandis que sa portion inférieure (plus du tiers) est caractérisée par une utilisation essentiellement agricole et partiellement urbanisée et industrialisée dans le secteur immédiat du réservoir Beaudet. Cette rivière possède une pente de l'ordre de 0,7% et coule sur un lit essentiellement constitué de roc nu, de gravier, d'argile et de silt.

Le transport solide de cette rivière se fait principalement par charriage, saltation et suspension, soit les principaux mécanismes de déplacement et de dépôt. En se basant sur la comparaison des relevés bathymétriques de 1994 et topographiques de 1974, (carte 5 en pochette) de même que sur l'examen de photographies aériennes, il semble s'accumuler des sédiments de part et d'autre du chenal principal à l'embouchure de la rivière Bulstrode. Les secteurs présentant le plus d'accumulation de sédiments se trouvent à l'entrée du réservoir, en bordure de la rive ouest, ainsi que sur la rive sud du réservoir.

FIGURE 2.2
Évolution mensuelle du niveau du réservoir Beaudet



SOURCE: Station 7020305 du MEF

Étant donné la largeur du réservoir (700 m), les vitesses d'écoulement y sont relativement lentes. Ceci favorise le dépôt de sable et d'éléments fins, principalement dans les zones de hauts-fonds où les vitesses sont réduites.

2.4 Qualité de l'eau

2.4.1 Réservoir Beaudet

Les données de qualité de l'eau présentées ci-après proviennent principalement:

- des échantillonnages effectués par le MEF, Direction du milieu aquatique (1977-1979);
- des données de qualité de l'eau de la prise d'eau de Victoriaville entre 1989 et 1993;

Ces données couvrent des périodes suffisamment longues pour effectuer des comparaisons de la qualité de l'eau à long terme.

La qualité de l'eau du réservoir est fortement influencée par les apports provenant de la rivière Bulstrode qui draine un bassin versant dont la portion inférieure est fortement agricole. Ces apports se traduisent par des concentrations d'éléments nutritifs relativement élevées dans le réservoir Beaudet, ce qui contribue directement à la croissance excessive d'algues phytoplanctoniques et de plantes aquatiques.

De plus, les eaux de drainage du parc industriel et d'une partie de la ville de Victoriaville se déversent directement dans le réservoir. Ces eaux contribuent aux apports d'éléments nutritifs et de contaminants de toutes sortes au réservoir Beaudet. Le drainage de ces secteurs urbains entre en conflit direct avec la vocation du réservoir et devrait donc être éliminé ou modifié de façon à avoir moins d'impact sur la qualité de l'eau.

Lorsqu'on compare les données de qualité de l'eau annuelles du réservoir Beaudet au cours de la période comprise entre 1977 et 1993, on peut observer une nette augmentation des concentrations d'éléments nutritifs tels les orthophosphates, les nitrites et nitrates (tableau 2.7). Les orthophosphates et les nitrates sont respectivement les formes de phosphore et d'azote qui peuvent être utilisées directement par les algues et les plantes aquatiques pour leur croissance. Entre les périodes de 1977 à 1979 et de 1989 à 1993 les orthophosphates ont augmenté en moyenne par un facteur de 12 à 38 fois et les nitrites et les nitrates, par un facteur de 1,5 à 2,5 fois. L'azote ammoniacal est demeuré relativement stable ou a subi une légère augmentation au cours de cette période. Ces augmentations des concentrations d'éléments nutritifs peuvent être le résultat d'une intensification des activités agricoles et de l'urbanisation dans le bassin versant du réservoir Beaudet et de la rivière Bulstrode.

Au cours de la même période (1977 à 1993) on observe également une augmentation de la turbidité dans le réservoir, qui peut être le résultat des deux facteurs ci-haut mentionnés et de la dévégétalisation des rives. L'ensemble de ces facteurs contribue aux apports de sédiments vers le réservoir et à la diminution de sa profondeur et de sa capacité d'emmagasinement d'eau.

On peut remarquer que suite à la mise en eau du réservoir (1977-79) les paramètres liés à son équilibre acido-basique (pH et alcalinité) ont subi une légère augmentation qui est caractéristique des réservoirs qui subissent une eutrophisation. En général le pH devient basique et l'alcalinité augmente avec l'eutrophisation du réservoir.

La qualité de l'eau du réservoir est demeurée plutôt stable entre 1989 et 1993. Seules les valeurs de quelques paramètres ont augmenté au cours de ces années dont la dureté, l'alcalinité et les solides totaux dissous.

Les données mensuelles de qualité de l'eau du MEF au réservoir Beaudet sont présentées à l'annexe 2, pour la période de 1977 à 1980.

De façon plus précise, les objectifs du présent rapport sont de:

- 1) statuer sur les causes du problème;
- 2) identifier des solutions (à court et long terme) pour contrôler les sources d'éléments nutritifs originant du bassin versant du réservoir;
- 3) identifier des solutions permettant de contrôler l'établissement et la croissance excessive des plantes aquatiques dans le réservoir;
- 4) identifier des solutions visant à contrôler la croissance excessive des algues phytoplanctoniques dans le réservoir;
- 5) formuler des recommandations visant à prolonger l'utilisation du réservoir Beaudet comme source d'eau potable dans une perspective de développement à long terme;
- 6) formuler un plan de mise en application des mesures d'intervention et faire une évaluation préliminaire des coûts associés aux mesures proposées.

2.0 MILIEU PHYSIQUE

La section qui suit a pour but de traiter des composantes du milieu physique qui ont une influence sur l'établissement, la croissance et la propagation des plantes aquatiques et des algues phytoplanctoniques du réservoir Beaudet. Dans certains cas, la composante du milieu peut avoir une influence directe sur les végétaux (température, vents, qualité de l'eau, etc.) et dans d'autres cas, une influence indirecte (hydrologie, précipitations, qualité des sédiments, via la disponibilité des éléments nutritifs).

La section traitera entre autres des facteurs climatiques, de la bathymétrie et de la morphologie du réservoir, du régime hydrique et sédimentologique, de la qualité de l'eau et des sédiments du réservoir.

2.1 Conditions climatiques

Le climat influence la productivité des lacs et réservoirs en agissant sur l'apport annuel d'eau et d'énergie au réservoir, sur l'hydrologie du bassin versant et sur le taux de renouvellement de l'eau, ainsi que sur le transport des nutriments et sédiments vers le plan d'eau (Barnes & Mann, 1980).

Les conditions climatiques propres à la région de Victoriaville sont celles des Basses Terres du Saint-Laurent, conditions correspondant au type de climat tempéré à caractère continental. L'analyse d'ensemble de ces conditions dans le secteur à l'étude repose sur la description de quatre paramètres, soit la température, les précipitations, les vents ainsi que l'évapotranspiration potentielle.

Comme il n'existe pas d'information météorologique concernant ces paramètres dans la région immédiate du réservoir Beaudet les données utilisées proviennent de la Direction des Réseaux atmosphériques du ministère de l'Environnement et de la Faune (MEF), station météorologique

no. 07020305 située à Arthabaska. Les données enregistrées à cette station sont fiables puisqu'elles couvrent plusieurs années (1969-1990).

2.1.1 Températures, précipitations et évapotranspiration potentielle

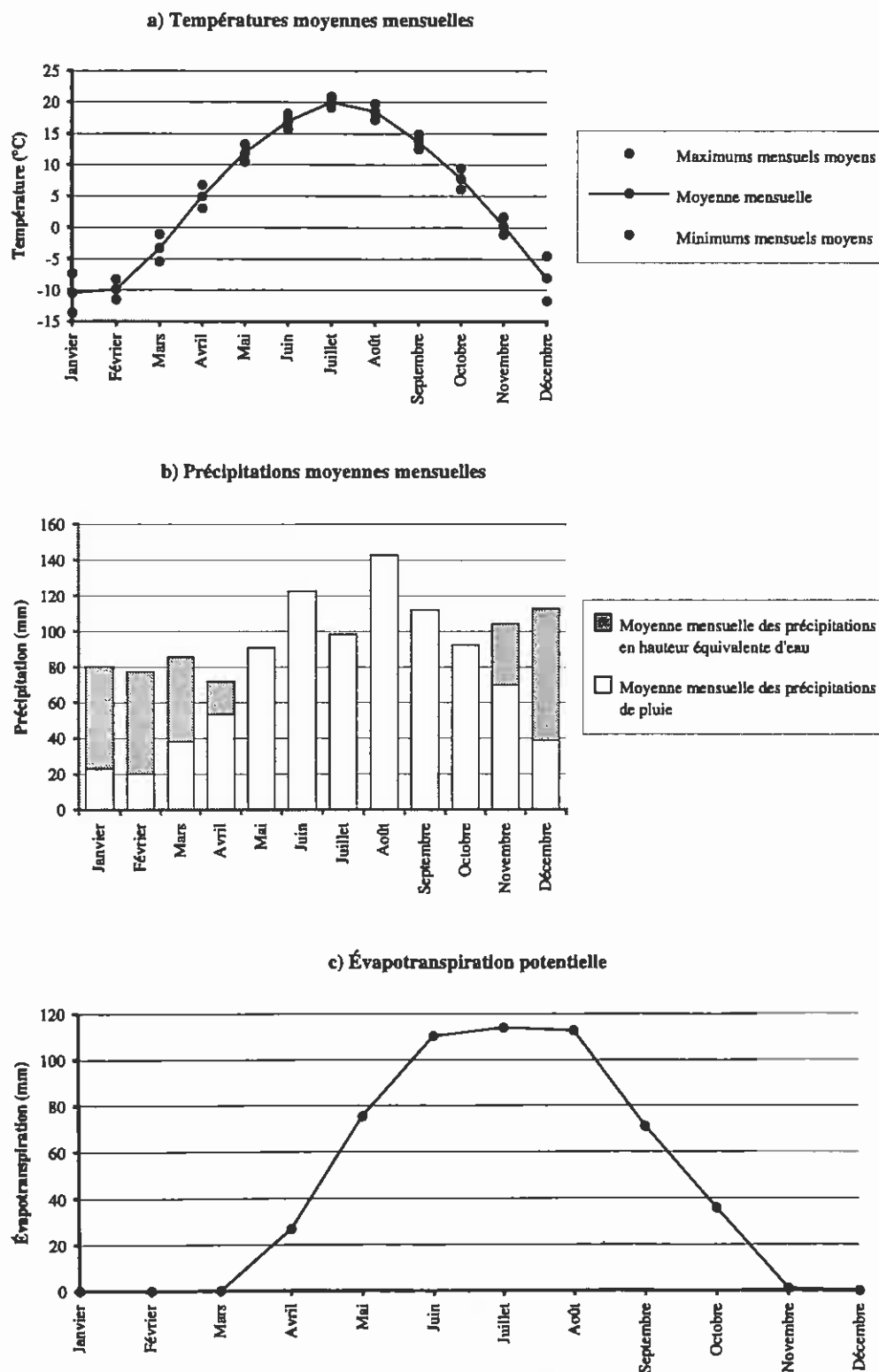
La température annuelle moyenne dans la région de Victoriaville est de 5,21 C°. La figure 2.1a présente, sur une base mensuelle, la température moyenne de l'air ainsi que les moyennes des températures maximales et minimales.

Les températures moyennes sont supérieures au point de congélation entre avril et novembre et les températures les plus élevées sont habituellement enregistrées pendant le mois de juillet (19,94°C). La grande superficie, la faible profondeur et l'exposition totale au soleil du réservoir Beaudet sont des caractéristiques qui peuvent provoquer un échange considérable entre la température de l'air et celle de la masse d'eau, particulièrement pendant la saison estivale. Puisque la température de l'eau est un facteur qui influence le développement des plantes aquatiques, plus particulièrement celui des algues, il n'est pas surprenant d'observer un développement rapide des végétaux pendant l'été dans le réservoir Beaudet.

La figure 2.1b illustre, sous forme d'histogramme, les moyennes mensuelles des précipitations de pluie et de neige. Annuellement, les précipitations totalisent 1204,2 mm pour la région à l'étude: 899,98 mm tombent sous forme de pluie tandis que les précipitations de neige (304,39 cm), ramenées en hauteur d'eau équivalente, représentent 304,22 mm. Le mois possédant la plus forte pluviosité est août alors qu'il tombe en moyenne près de 143 mm de pluie. Les précipitations significatives de neige commencent en novembre et se terminent en avril. Les précipitations annuelles contribuent significativement au renouvellement de l'eau dans le réservoir.

FIGURE 2.1

Températures, précipitations moyennes mensuelles et évapotranspiration potentielle
au réservoir Beaudet entre 1969 et 1990



SOURCE: Direction des réseaux atmosphériques, MEF, 1994

L'évapotranspiration potentielle représente la quantité maximale d'eau susceptible d'être évaporée, sous un climat donné, par un couvert végétal largement alimenté en eau. Elle englobe d'une part, l'évaporation du sol et d'autre part, la transpiration des végétaux. La hauteur de la lame d'eau ainsi "évapotranspirée" sur un bassin versant, pendant une période déterminée, représente son évaporation totale au cours de cette période (Rémérieras, 1972). Sur une base annuelle, l'évapotranspiration représente, dans la région de Victoriaville, près de 565 mm/année (figure 2.1c). Elle est plus importante pendant le mois de juillet où elle atteint 132 mm.

2.1.2 Vents

La direction et la force des vents sont des paramètres importants dans la problématique à l'étude. En effet, les vents influencent à la fois la courantométrie à l'intérieur d'un réservoir, et le métabolisme des lacs et des réservoirs par la pénétration de la chaleur et la stratification de même que par la pénétration et la demande en oxygène.

Les données sur les vents proviennent de la station météorologique du MEF d'Arthabaska. Elles ont été enregistrées sur une période de 6 ans. L'intensité moyenne des vents et la distribution directionnelle de leur fréquence sont compilées aux tableaux 2.1a et 2.1b.

Bien que les données enregistrées à cette station ne couvrent pas une longue période, les tableaux 2.1a et 2.1b permettent de mettre en évidence que les vents les plus violents surviennent au cours de la saison hivernale et proviennent habituellement du sud. En période estivale, les vents dominants soufflent dans la même direction bien que leur vitesse moyenne soit plus faible. C'est en juillet que les vents sont les plus faibles. Cette période correspond également à une période d'étiage sévère, où les températures sont les plus élevées. Le mois de juillet est donc particulièrement propice aux baisses localisées des concentrations en oxygène dues à l'activité photosynthétique des plantes aquatiques et des algues phytoplanctoniques ainsi qu'à la demande en oxygène engendrée par les processus de décomposition de la matière organique. La direction des vents dominants pourrait occasionner une accumulation de plantes aquatiques flottantes à l'extrémité nord du réservoir.

TABLEAU 2.1A
Fréquence (%) des vents en fonction des différents points cardinaux

Mois	Rose des vents								
	Fréquence par direction								
	NORD	NE	EST	SE	SUD	SO	OUEST	NO	CALME
Janvier	5,81	5,48	4,19	3,55	32,26	26,45	9,35	4,52	8,39
Février	7,47	5,34	5,34	2,14	27,40	27,05	12,46	2,85	9,96
Mars	10,65	6,77	3,55	0,65	25,48	18,71	10,97	3,23	20,00
Avril	17,73	12,37	5,69	5,02	18,06	12,04	10,03	5,69	13,38
Mal	8,06	9,03	5,48	2,90	23,23	17,74	10,97	5,81	16,77
Juin	6,02	5,35	4,68	2,68	28,76	16,39	14,38	4,01	17,73
Jullet	2,26	3,87	2,58	1,29	25,81	20,97	15,48	1,94	25,81
Août	1,61	1,29	4,84	3,23	25,48	18,71	14,52	3,23	27,10
Septembre	1,67	2,33	4,00	2,67	25,33	23,67	10,33	2,67	27,33
Octobre	7,07	3,53	3,26	1,63	29,89	20,11	13,59	4,35	16,58
Novembre	6,41	5,85	3,34	3,62	29,25	20,61	14,48	5,57	10,86
Décembre	6,18	3,76	5,65	4,57	30,38	27,42	8,06	3,76	10,22
Annuel	6,71	5,36	4,36	2,85	26,93	20,90	12,04	4,00	16,85
Hiver	6,44	4,78	5,09	3,53	30,11	27,00	9,76	3,74	9,55
Printemps	12,08	9,36	4,90	2,83	22,31	16,21	10,66	4,90	16,76
Été	3,26	3,48	4,03	2,39	26,66	18,72	14,80	3,05	23,61
Automne	5,26	3,99	3,51	2,63	28,33	21,32	12,95	4,28	17,72

SOURCE : Direction des réseaux atmosphériques, station 702C305, Arthabaska

TABEAU 2.1B
Vitesse des vents en fonction des différents points cardinaux

Mois	Rose des vents								MOYENNE	ÉCART-TYPE
	Vitesse moyenne par direction (km/h)									
	NORD	NE	EST	SE	SUD	SO	OUEST	NO		
Janvier	23,06	20,18	13,23	16,18	20,58	24,73	16,45	22,71	19,32	12,40
Février	18,00	15,80	11,07	9,17	15,58	21,53	17,37	21,63	15,85	10,78
Mars	21,27	17,62	13,36	19,00	17,46	25,41	16,24	22,00	15,75	11,85
Avril	19,43	19,46	16,71	24,67	19,07	24,17	16,20	24,00	17,38	11,44
Mai	18,00	22,11	17,35	17,11	20,56	23,64	18,71	20,94	17,13	12,50
Juin	20,11	18,75	17,50	24,38	22,15	22,37	19,95	24,50	17,58	12,43
Juillet	25,00	20,33	16,88	16,25	17,01	17,88	15,21	23,33	12,94	10,41
Août	22,60	17,00	14,40	22,30	17,77	20,62	16,00	24,60	13,50	10,99
Septembre	19,60	19,29	13,17	20,75	21,87	21,38	16,39	18,13	14,63	13,16
Octobre	17,81	19,23	11,50	21,33	21,93	20,14	13,66	18,50	15,92	12,71
Novembre	19,52	16,71	14,42	19,08	22,13	24,36	18,52	17,30	18,54	12,57
Décembre	21,39	16,14	10,05	20,53	20,46	23,32	21,80	22,14	18,64	11,55
Annuel	19,95	18,84	14,01	19,90	19,91	22,44	17,08	21,39	16,49	12,11
Hiver	20,73	17,52	11,20	17,12	19,21	23,24	18,50	22,25	18,04	11,71
Printemps	19,66	19,87	16,13	21,62	18,97	24,46	17,08	22,33	16,75	11,96
Été	21,67	19,13	16,11	21,95	19,06	20,08	16,97	24,29	14,64	11,48
Automne	18,70	17,95	13,03	20,07	21,99	21,97	16,20	17,89	16,46	12,90

SOURCE : Direction des réseaux atmosphériques, station 702C305, Arthabaska

2.2 Bathymétrie et morphologie du réservoir

La bathymétrie (profondeur) et la morphométrie d'un plan d'eau ainsi que les caractéristiques de son bassin versant sont des facteurs qui influencent beaucoup sa susceptibilité à l'eutrophisation et à la prolifération d'algues et de plantes aquatiques. Le tableau 2.2 présente les caractéristiques propres au réservoir Beaudet et à son bassin versant.

L'ensemble des données disponibles sur la bathymétrie du réservoir Beaudet provient des relevés topographiques effectués avant la mise en eau du réservoir en 1974 ainsi que des relevés bathymétriques effectués par Roche Ltée, en décembre 1994 (cartes 2 et 3 en pochette). Ces derniers ont été réalisés sous le couvert de glace à l'aide d'un géoradar. Le positionnement précis des points de mesures était assuré par un système de positionnement par satellite "Wild GPS Système 200 de Leica" utilisé en mode différentiel. Près de 2400 points de mesure, référés en coordonnées x, y, z au repère géodésique, ont été relevés. Les objectifs de ces relevés étaient d'une part d'établir précisément, les dimensions des hauts-fonds, des fosses et des chenaux d'écoulement et d'autre part, d'identifier les zones de faible profondeur qui favorisent généralement l'établissement des plantes aquatiques.

Le réservoir Beaudet est un réservoir artificiel peu profond, dont la profondeur moyenne est de 1,76 m et la profondeur maximale, de l'ordre de 5,6 m (tableau 2.2). Les zones profondes se situent dans l'ancien lit de la rivière Bulstrode (carte 3, en pochette). Le réservoir est partiellement entouré d'une digue étanche (cote 131,34 m) et possède à son embouchure un ouvrage hydraulique en béton composé de trois vannes de fond (exutoire). L'exutoire du réservoir laisse déverser l'eau en aval du barrage à partir de la cote 128,78 m. La faible superficie du réservoir (0,69 km²), associée à de faibles profondeurs (moyenne de 1,76 m), se traduit par une capacité minimale d'emmagasiner de 1 215 000 m³ à la cote 128,78 m (N. Juneau inc., 1995).

TABLEAU 2.2
Caractéristiques morphométriques du réservoir
Beaudet et de son bassin versant

	1979	1994
Superficie du réservoir	0,69 km ²	0,69 km ²
Volume du réservoir	1,70 x 10 ⁶ m ³	1,215 x 10 ⁶ m ³
Profondeur maximale du réservoir	6,50 m	5,60 m
Profondeur moyenne du réservoir	2,45 m	1,76 m
Niveau du déversoir	—	128,78 m
Niveau minimum journalier depuis 1976	—	126,67 m (13 décembre 1977)
Niveau maximum journalier depuis 1976	—	130,33 m (25 mars 1979)
Niveau maximum instantané depuis 1976	—	130,90 m (29 mars 1989 à 7:30)
Superficie du bassin versant	326 km ²	338 km ²
Débit de la rivière Bulstrode à l'étiage	1,0 m ³ /s	1,0 m ³ /s
Débit de la rivière Bulstrode en crue	63 - 70 m ³ /s	65 m ³ /s
Débit module (18 ans)	—	8,41 m ³ /s
Débit maximum journalier (depuis 1971)	—	263 m ³ /s (29 mars 1989)
Débit minimum journalier (depuis 1971)	—	0,020 m ³ /s (23 septembre 1983)

SOURCE: Desrochers et al. (1979), Roche (1994) et MEF (1994)

Le chenal d'écoulement principal de l'ancien lit de la rivière Bulstrode, son principal tributaire, demeure toujours bien délimité. On y retrouve des profondeurs de 1,5 à 5,6 m au niveau d'eau correspondant au jour des relevés bathymétriques, soit 128,93 m (16 décembre 1994). Les secteurs les moins profonds se trouvent à l'extrémité sud du réservoir, en bordure de la rive ouest ainsi qu'à l'entrée du réservoir où l'on observe un haut-fond important. Un petit bras marécageux peu profond est situé à l'extrémité est du réservoir. Sa présence s'explique par le fait que celui-ci reçoit les eaux de drainage d'une partie du parc industriel.

Les plantes aquatiques privilégient particulièrement les secteurs peu profonds et présentant des sédiments fins. Les éléments nutritifs qui alimentent la croissance des plantes aquatiques ont généralement tendance à s'associer à ce type de matériel et à s'accumuler dans les zones de sédimentation. On peut d'ailleurs observer des zones particulièrement denses de plantes aquatiques dans les secteurs peu profonds du réservoir (carte 4, en pochette).

Lorsqu'on compare la carte bathymétrique de 1994 aux relevés topographiques de 1974, on s'aperçoit que certaines zones sont moins profondes qu'en 1974 (carte 5, en pochette). On peut également constater qu'à l'extrémité ouest, le réservoir est de 0,5 à 1,5 m moins profond qu'en 1974.

Dans son ensemble, la bathymétrie du réservoir Beaudet est idéale pour le développement de plantes aquatiques. Il existe trois grands groupes de plantes aquatiques susceptibles de coloniser le réservoir Beaudet: les plantes émergentes (profondeur: 0 à 0,75 m, exemple: les quenouilles, les scirpes, les sagittaires), les plantes flottantes (profondeur: 0,5 à 3 m, exemple: les nénuphars, les nymphées) et les plantes submergées (profondeur: 0 à 5 m, exemple: les algues, l'élodée, le potamot).

L'ensemble des profondeurs observées dans le réservoir Beaudet convient à l'un ou l'autre de ces groupes de plantes. Avec les faibles profondeurs enregistrées (profondeur moyenne de 1,76 m), la proportion du réservoir dans laquelle le développement des plantes aquatiques est peu probable est très faible.

Les rives du réservoir sont caractérisées par une pente très douce et une profondeur d'eau d'environ 0,3 m et ce, jusqu'à une distance de plusieurs mètres de la ligne du rivage. Ce secteur est idéal pour le développement des plantes émergentes qui peuvent développer un couvert végétal aérien très dense et vigoureux. Par contre, on retrouve une profondeur d'eau variant entre 1 et 1,5 m sur les rives qui ont fait l'objet de stabilisation par enrochement. Ces rives sont moins propices au développement des plantes émergentes mais peuvent abriter des plantes flottantes ou submergées si les conditions de croissance sont idéales (lumière, nutriments, débit).

La vitesse des courants est un facteur limitant pour l'établissement des plantes aquatiques. L'écoulement principal se situant dans l'ancien chenal de la rivière Bulstrode, le développement des plantes aquatiques sera donc favorisé dans le reste du réservoir où les vitesses sont plus lentes.

2.3 Régime hydrique et sédimentologique

Les aspects hydrauliques et sédimentologiques sont fondamentaux dans l'élaboration de solutions adaptées à la problématique à l'étude. Les conditions hydrauliques locales et le régime hydrologique influencent énormément l'apport en sédiment et en phosphore dans le réservoir.

2.3.1 Régime hydrique

La description des conditions hydriques de la rivière Bulstrode dans le secteur du réservoir Beaudet repose sur la caractérisation des débits, du profil bathymétrique, des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement.

Hydrologie

La rivière Bulstrode possède, au niveau du réservoir Beaudet, un bassin versant de 338 km² (carte 1, en pochette). Les débits de cette rivière sont jaugés le long de son cours à différentes stations hydrométriques du MEF. La station #030106 située à 15,3 km en amont du pont-route

161 à St-Valère est utilisée pour établir les débits du site à l'étude. L'étendue des données sur 17 années permet un traitement statistique relativement fiable. Les bassins versants étant identiques, les débits enregistrés peuvent être directement appliqués au réservoir Beaudet.

Les valeurs chronologiques des débits mensuels sont présentées au tableau 2.3. Ces valeurs permettent de dresser un portrait global de l'hydrologie du réservoir pour chacun des mois de l'année.

Les analyses des crues et étiages ont été réalisées en utilisant respectivement la loi de Gumbel et la loi de type $\log_{10}$ -Pearson-WRC. Ces analyses établissent les débits journaliers pour différents intervalles de récurrence, c'est-à-dire la période de temps moyenne entre les apparitions d'un événement hydrologique d'une grandeur donnée. Les résultats de ces analyses sont résumés dans le tableau 2.4.

Le débit module se situant à $8,41 \text{ m}^3/\text{s}$, on remarque donc d'importantes variations autour de cette valeur; les débits moyens usuels d'étiage et de crue se maintiennent respectivement autour de $0,1$ et $65 \text{ m}^3/\text{s}$. Par ailleurs, en période de forte hydraulité, soit une récurrence de 20 ans et plus, on constate des débits variant entre $0,2$ et plus de $300 \text{ m}^3/\text{s}$.

Durant la saison estivale, la demande en eau potable et la prolifération des plantes aquatiques (macrophytes) sont maximales; cette saison amène également des périodes sévères d'étiage. Les débits d'étiage, entre le 1^{er} juillet et le 30 septembre, sont précisés dans le tableau 2.5.

Niveaux d'eau

L'enregistrement des niveaux d'eau est réalisé au réservoir Beaudet depuis 1977 par le MEF, à la station #030118. Des analyses des niveaux d'eau de crue et d'étiage sur une base annuelle ont été réalisées en utilisant respectivement les lois de Gumbel et de $\log_{10}$ -Pearson3-WRC. Le tableau 2.6 résume les résultats de ces analyses.

TABEAU 2.3

Valeurs chronologiques des débits mensuels de la rivière Bulstrode au réservoir Beaudet

Mois	Débit minimum mensuel	Débit moyen mensuel	Débit maximum mensuel
	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
Janvier	0,098	4,484	88,7
Février	0,143	5,538	137,0
Mars	0,124	15,462	263,0
Avril	1,430	24,752	203,0
Mai	0,510	7,315	83,4
Juin	0,028	4,442	91,6
Juillet	0,050	2,743	68,5
Août	0,032	5,233	202,0
Septembre	0,020	4,458	137,0
Octobre	0,029	7,789	73,0
Novembre	0,135	11,663	135,0
Décembre	0,160	7,342	179,0
Annuel	0,020	8,406	263,0

SOURCE : Station 7020305 du MEF

TABEAU 2.4
Débits journaliers caractéristiques de la rivière Bulstrode au réservoir Beaudet

Intervalle de récurrence (ans)	Étiage* (l / s)		
	Nombre de jours consécutifs		
	1	7	30
2	93,9	190,2	527,3
5	41,1	76,2	200,8
10	27,6	46,0	117,0
20	20,3	29,9	73,4
50	14,6	18,2	42,5

Intervalle de récurrence (ans)	Crue** (m ³ / s)		
	Nombre de jours consécutifs		
	1	7	30
2	136,8	61,4	32,2
5	183,5	76,5	39,1
10	214,5	86,6	43,7
20	244,2	96,2	48,1
50	282,6	108,6	53,8

* log10 - Pearson 3, WRC

** Gumbel

TABLEAU 2.5
Débits d'étiage durant la période estivale

Intervalle de récurrence (ans)	Débit* (l / s)			
	Nombre de jours consécutifs			
	1	3	7	10
2	137,74	197,60	289,73	340,56
5	52,19	76,35	106,19	123,87
10	32,18	45,92	60,14	69,44
20	21,85	29,99	36,74	41,91
50	14,32	18,44	20,55	23,04

*log 10 - Pearson 3, WRC

TABLEAU 2.6

Niveaux d'eau journaliers (1ère lecture) de la rivière Bulstrode au réservoir Beaudet

Intervalle de récurrence (ans)	Niveaux d'eau (m) en période d'étiage		
	Nombre de jours consécutifs		
	1	7	30
2	127,55	127,90	128,29
5	127,16	127,49	127,90
10	126,95	127,26	127,66
20	126,78	127,96	127,45
50	126,58	126,94	127,20
Intervalle de récurrence (ans)	Niveaux d'eau (m) en période de crue		
	Nombre de jours consécutifs		
	1	7	30
2	129,88	129,31	129,09
5	130,10	129,40	129,17
10	130,24	129,46	129,22
20	130,33	129,52	129,26
50	130,56	129,59	129,32

Les niveaux d'eau moyens usuels se maintiennent habituellement autour de 127,90 m en étiage et 129,31 m en crue. Quant au niveau moyen annuel, il se maintient à environ 128,60 m. Selon les niveaux enregistrés, le marnage moyen du réservoir semble varier entre 0,08 et 1,40 m annuellement (figure 2.2).

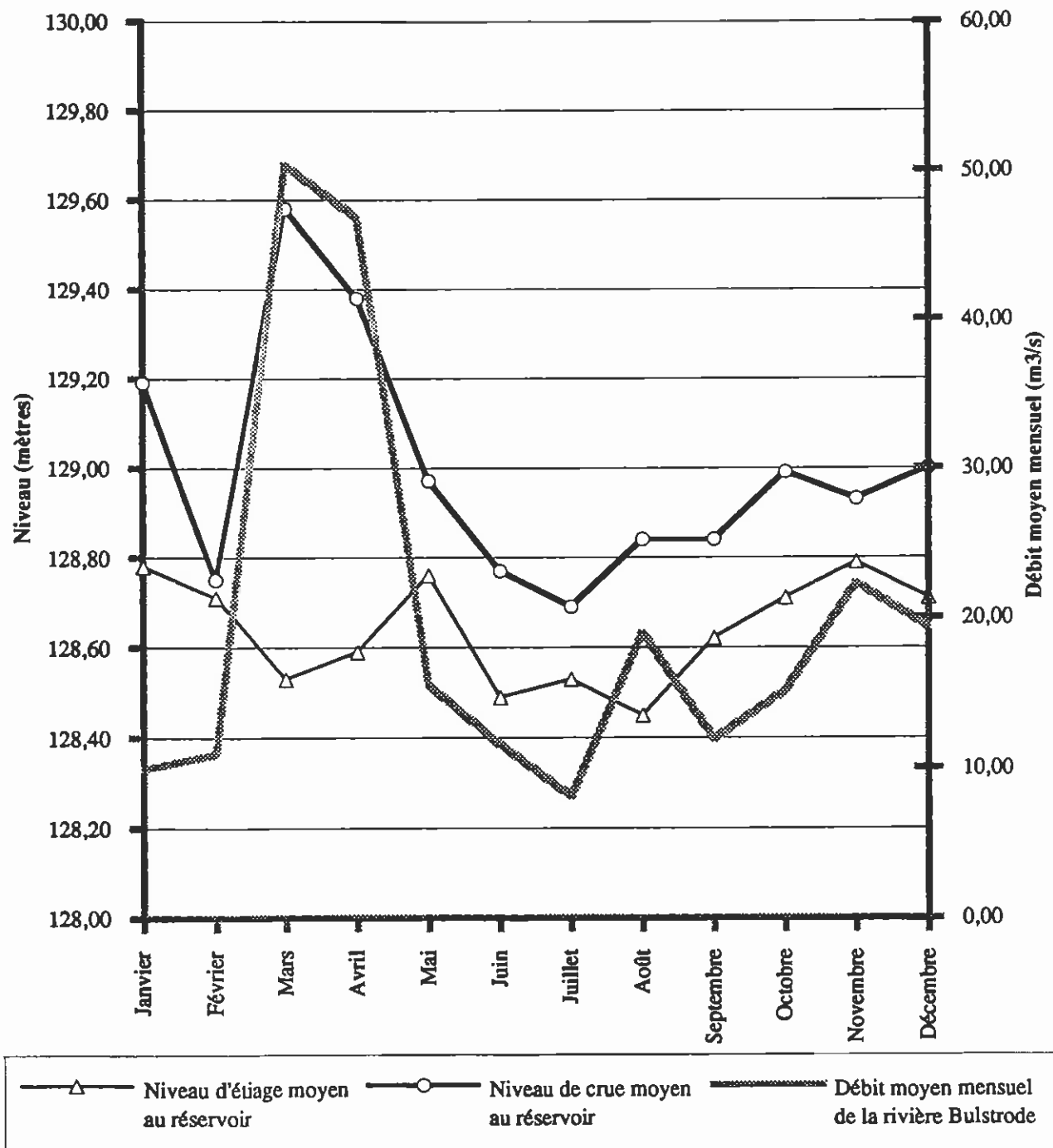
En période estivale, les niveaux d'eau sont très bas en raison d'une part, de la demande en eau potable et, d'autre part, des étiages typiques à cette période. Les niveaux minima estivaux, entre le 1^{er} juillet et le 30 septembre, sont présentés à l'annexe 1. C'est en juillet que les plantes aquatiques et les algues phytoplanctoniques bénéficient des conditions les plus propices à leur croissance. En effet, les faibles débits et niveaux enregistrés au mois de juillet favorisent l'implantation et la croissance des plantes et algues aquatiques puisqu'ils réduisent la profondeur de l'eau et contribuent à son réchauffement.

2.3.2 Régime sédimentologique

Le bassin supérieur de la rivière Bulstrode est situé dans une zone en majorité boisée tandis que sa portion inférieure (plus du tiers) est caractérisée par une utilisation essentiellement agricole et partiellement urbanisée et industrialisée dans le secteur immédiat du réservoir Beaudet. Cette rivière possède une pente de l'ordre de 0,7% et coule sur un lit essentiellement constitué de roc nu, de gravier, d'argile et de silt.

Le transport solide de cette rivière se fait principalement par charriage, saltation et suspension, soit les principaux mécanismes de déplacement et de dépôt. En se basant sur la comparaison des relevés bathymétriques de 1994 et topographiques de 1974, (carte 5 en pochette) de même que sur l'examen de photographies aériennes, il semble s'accumuler des sédiments de part et d'autre du chenal principal à l'embouchure de la rivière Bulstrode. Les secteurs présentant le plus d'accumulation de sédiments se trouvent à l'entrée du réservoir, en bordure de la rive ouest, ainsi que sur la rive sud du réservoir.

FIGURE 2.2
Évolution mensuelle du niveau du réservoir Beaudet



SOURCE: Station 7020305 du MEF

Étant donné la largeur du réservoir (700 m), les vitesses d'écoulement y sont relativement lentes. Ceci favorise le dépôt de sable et d'éléments fins, principalement dans les zones de hauts-fonds où les vitesses sont réduites.

2.4 Qualité de l'eau

2.4.1 Réservoir Beaudet

Les données de qualité de l'eau présentées ci-après proviennent principalement:

- des échantillonnages effectués par le MEF, Direction du milieu aquatique (1977-1979);
- des données de qualité de l'eau de la prise d'eau de Victoriaville entre 1989 et 1993;

Ces données couvrent des périodes suffisamment longues pour effectuer des comparaisons de la qualité de l'eau à long terme.

La qualité de l'eau du réservoir est fortement influencée par les apports provenant de la rivière Bulstrode qui draine un bassin versant dont la portion inférieure est fortement agricole. Ces apports se traduisent par des concentrations d'éléments nutritifs relativement élevées dans le réservoir Beaudet, ce qui contribue directement à la croissance excessive d'algues phytoplanctoniques et de plantes aquatiques.

De plus, les eaux de drainage du parc industriel et d'une partie de la ville de Victoriaville se déversent directement dans le réservoir. Ces eaux contribuent aux apports d'éléments nutritifs et de contaminants de toutes sortes au réservoir Beaudet. Le drainage de ces secteurs urbains entre en conflit direct avec la vocation du réservoir et devrait donc être éliminé ou modifié de façon à avoir moins d'impact sur la qualité de l'eau.

Lorsqu'on compare les données de qualité de l'eau annuelles du réservoir Beaudet au cours de la période comprise entre 1977 et 1993, on peut observer une nette augmentation des concentrations d'éléments nutritifs tels les orthophosphates, les nitrites et nitrates (tableau 2.7). Les orthophosphates et les nitrates sont respectivement les formes de phosphore et d'azote qui peuvent être utilisées directement par les algues et les plantes aquatiques pour leur croissance. Entre les périodes de 1977 à 1979 et de 1989 à 1993 les orthophosphates ont augmenté en moyenne par un facteur de 12 à 38 fois et les nitrites et les nitrates, par un facteur de 1,5 à 2,5 fois. L'azote ammoniacal est demeuré relativement stable ou a subi une légère augmentation au cours de cette période. Ces augmentations des concentrations d'éléments nutritifs peuvent être le résultat d'une intensification des activités agricoles et de l'urbanisation dans le bassin versant du réservoir Beaudet et de la rivière Bulstrode.

Au cours de la même période (1977 à 1993) on observe également une augmentation de la turbidité dans le réservoir, qui peut être le résultat des deux facteurs ci-haut mentionnés et de la dévégétalisation des rives. L'ensemble de ces facteurs contribue aux apports de sédiments vers le réservoir et à la diminution de sa profondeur et de sa capacité d'emmagasiner d'eau.

On peut remarquer que suite à la mise en eau du réservoir (1977-79) les paramètres liés à son équilibre acido-basique (pH et alcalinité) ont subi une légère augmentation qui est caractéristique des réservoirs qui subissent une eutrophisation. En général le pH devient basique et l'alcalinité augmente avec l'eutrophisation du réservoir.

La qualité de l'eau du réservoir est demeurée plutôt stable entre 1989 et 1993. Seules les valeurs de quelques paramètres ont augmenté au cours de ces années dont la dureté, l'alcalinité et les solides totaux dissous.

Les données mensuelles de qualité de l'eau du MEF au réservoir Beaudet sont présentées à l'annexe 2, pour la période de 1977 à 1980.

TABEAU 2.7
Données de qualité de l'eau annuelles du réservoir Beaudet entre 1977 et 1993

PARAMÈTRES	1977*			1978*			1979*			1989**			1990**			1991**			1992**			1993**		
	Annuel			Annuel			Annuel			Annuel			Annuel			Annuel			Annuel					
	Minimum	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne	Maximum
Caractéristiques physiques																								
Couleur	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16,0	23,0	33,0	17,0	28,0	39,0	10,0	16,0	22,0	9,0	17,0	27,0	8,0	19,0	31,0
Oxygène dissous (mg/l)	6,4	8,2	9,6	6,3	10,5	14,4	6,2	11,7	13,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Température (°C)	13,0	19,1	25,0	0,0	11,5	23,0	0,0	6,4	23,0	3,0	12,0	22,0	4,0	12,0	21,0	4,0	12,0	22,0	3,0	11,0	21,0	3,0	11,0	22,0
Transparence (m)	1,1	1,3	1,6	0,0	0,9	1,5	0,4	1,2	2,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Turbidité (UNT)	1,0	2,0	3,0	0,8	6,1	30,0	0,6	2,9	9,0	5,2	12,5	22,4	4,9	17,1	41,3	4,0	9,3	20,8	3,4	8,2	17,1	2,1	11,4	32,1
Caractéristiques générales																								
Alcalinité totale (mg CaCO ₃ /l)	54,0	74,8	100,0	13,0	48,0	60,0	32,0	59,0	73,0	43,0	70,0	116,0	49,0	69,0	93,0	51,0	76,0	100,0	40,0	74,0	148,0	46,0	82,0	137,0
Calcium (mg/l)	22,6	29,1	37,5	7,9	22,8	30,0	13,7	25,3	33,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Carbone inorganique (mg/l)	7,0	13,6	23,5	4,0	9,9	14,5	6,5	13,1	17,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Carbone total (mg/l)	17,0	24,1	36,0	9,0	21,3	80,0	15,5	22,3	28,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Chlorures (mg/l)	3,4	5,8	7,4	2,0	4,3	5,5	3,1	5,2	8,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Conductivité (µS/cm)	15,0	163,9	233,0	15,0	133,1	195,0	100,0	153,5	180,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Dureté	—	—	—	—	—	—	—	—	—	66,0	107,0	184,0	80,0	102,0	129,0	77,0	101,0	126,0	88,0	121,0	225,0	75,0	117,0	192,0
Magnésium (mg/l)	2,3	2,6	2,9	0,5	1,8	2,3	1,3	2,1	2,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
pH	7,3	7,6	8,2	6,3	7,3	8,3	6,6	7,3	7,9	7,2	7,5	7,8	7,3	7,6	7,8	7,3	7,6	8,0	7,2	7,4	7,6	7,1	7,5	7,9
Potassium (mg/l)	1,1	1,8	2,3	0,7	1,3	2,2	0,7	1,4	2,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Silice (Si O ₂) (mg/l)	0,5	1,3	2,2	0,4	1,7	3,8	1,2	2,9	4,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sodium (mg/l)	1,8	7,5	29,0	1,0	2,6	3,5	1,8	2,8	4,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Solides totaux dissous	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	80,0	115,0	155,0	88,0	134,0	241,0	76,0	130,0	215,0
Sulfates (mg/l)	6,3	12,5	20,0	7,4	14,4	27,0	10,6	16,2	20,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Éléments nutritifs																								
Azote ammoniacal (mg/l)	0,01	0,06	0,12	0,02	0,06	0,16	0,03	0,13	0,36	0,01	0,18	0,50	0,04	0,13	0,21	0,02	0,09	0,18	0,01	0,09	0,25	0,05	0,12	0,23
Azote Kjeldahl (mg/l)	0,14	0,37	0,55	0,10	0,27	0,52	0,11	0,28	0,76	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Nitrites et nitrates (mg/l)	0,02	0,06	0,16	0,02	0,27	0,81	0,07	0,39	0,65	0,00	0,90	2,00	0,00	0,40	1,10	0,10	0,70	2,10	0,30	0,60	1,10	0,40	1,00	1,90
Orthophosphates (mg/l de PO ₄ ⁻³)	0,006	0,006	0,009	0,006	0,008	0,033	0,006	0,007	0,009	0,020	0,100	0,340	0,030	0,120	0,570	0,030	0,070	0,130	0,050	0,090	0,310	0,04	0,13	0,73
Phosphore total (mg/l)	0,006	0,016	0,036	0,006	0,014	0,036	0,006	0,013	0,027	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Métaux totaux																								
Aluminium	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,04	0,06	0,08	0,02	0,08	0,25	0,03	0,04	0,07	0,02	0,03	0,06	0,01	0,02	0,04
Fer (mg/l)	0,070	0,223	0,390	0,03	0,28	0,80	0,06	0,26	0,84	0,13	0,31	0,48	0,16	0,24	0,32	0,12	0,23	0,37	0,12	0,23	0,38	0,16	0,30	0,52
Manganèse (mg/l)	0,010	0,179	0,700	0,01	0,13	0,33	0,01	0,09	0,36	0,13	0,33	0,53	0,09	0,25	0,50	0,05	0,14	0,26	0,05	0,13	0,25	0,08	0,27	0,94
Caractéristiques biologiques																								
Chlorophylle a (mg/m ³)	1,3	6,4	15,9	0,1	8,0	39,6	0,1	1,9	7,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

SOURCES : * MEF, Direction du milieu aquatique
 ** Les données présentées sont des moyennes annuelles ainsi que des valeurs minimales et maximales mensuelles des paramètres de qualité de l'eau analysés à la prise d'eau de Victoriaville entre 1989 et 1993.

D'autres données ponctuelles sur la qualité de l'eau sont également présentées dans:

- Desrochers et al. (1979), en mai, juin et juillet de 1979;
- Blanchette (1983), en août et octobre de 1983.

2.4.2 Rivière Bulstrode

L'agriculture intensive qui se fait sur au moins un tiers de la superficie de son bassin versant est la cause principale de la détérioration de la qualité de l'eau de la rivière. L'application d'engrais chimiques et de fumiers ainsi que les pratiques culturales actuelles sont les grandes responsables des grandes quantités d'azote, de phosphore et de matières en suspension observées dans le réservoir Beaudet.

Les seules données disponibles sur la qualité de l'eau de la rivière Bulstrode en amont du réservoir Beaudet couvrent les mois de juillet et août 1973; elles ont été récoltées par le MEF à la station 3010016 située à 2,2 km en amont du pont-route à Victoriaville. Les seules données récentes sur la qualité de la rivière Bulstrode ont été récoltées de 1988 à 1991 en aval du réservoir à la station 3010012 située au pont-route de St-Samuel-de-Horton. La qualité de l'eau de cette dernière station est en général moins bonne qu'à la station 3010016 puisqu'elle subit l'influence des municipalités et des terres agricoles situées en aval du barrage. En juillet et août 1973, la conductivité de l'eau (liée à la concentration de minéraux dans l'eau) de la station 3010012 était environ 19% plus élevée qu'à la station 3010016 et les concentrations de nutriments tels les nitrites et nitrates et les orthophosphates étaient respectivement de 57% et 400% plus élevées qu'à la station 3010016 (tableau 2.8). Les données de base utilisées pour faire cette analyse sur la qualité de l'eau sont présentées à l'annexe 3.

TABLEAU 2.8
Qualité de l'eau de la rivière Bulstrode entre 1973 et 1991

PARAMÈTRES	STATIONS																	
	3010016*			3010012**			3010012**			3010012**			3010012**			3010012**		
	1973			1973			1988			1989			1990			1991		
	Minimum	Moyenne	Maximun	Minimum	Moyenne	Maximun	Minimum	Moyenne	Maximun	Minimum	Moyenne	Maximun	Minimum	Moyenne	Maximun	Minimum	Moyenne	Maximun
Azote ammoniacal (mg/l)	—	—	—	—	—	—	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,02	0,02	0,02
Azote total filtré (mg/l)	—	—	—	—	—	—	0,37	0,43	0,48	0,26	0,36	0,51	0,38	0,49	0,69	0,24	0,37	0,59
Carbone organique dissous (mg/l)	—	—	—	—	—	—	4,00	4,63	5,20	3,80	4,50	5,00	—	—	—	—	—	—
Chlorophylle totale (mg/m)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,02	7,51	17,85	1,13	6,67	17,15
Coliformes fécaux (ba/100 ml)	—	—	—	—	—	—	290,00	2592,50	8000,00	78,00	714,50	1500,00	108,00	923,25	3000,00	48,00	1524,50	5200,00
Conductivité (µS/cm)	130,00	193,67	223,00	162,00	230,33	298,00	211,00	261,75	288,00	172,00	233,00	285,00	138,00	205,00	256,00	250,00	285,75	322,00
Couleur vraie (hazen)	—	—	—	—	—	—	13,00	18,25	25,00	12,00	17,00	20,00	13,00	43,75	120,00	12,00	16,50	22,00
Demande biochimique en oxygène (mg/l)	—	—	—	—	—	—	1,00	1,80	2,70	0,70	0,95	1,20	0,50	1,08	1,60	1,00	1,45	1,70
Nitrates et nitrites dissous (mg/l)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,18	0,24	0,38	0,00	0,15	0,32
Nitrites et nitrates (mg/l)	0,02	0,07	0,18	0,02	0,11	0,25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ortho-phosphates (mg/l)	0,01	0,01	0,05	0,01	0,04	0,14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Oxygène dissous (mg/l)	—	—	—	—	—	—	8,30	9,88	11,60	8,50	9,90	13,40	—	—	—	9,80	11,73	13,60
pH	—	—	—	—	—	—	7,90	8,18	8,70	7,80	7,93	8,10	7,60	8,00	8,20	8,10	8,15	8,20
Phosphore dissous (mg/l)	—	—	—	—	—	—	0,01	0,02	0,03	0,01	0,04	0,14	0,01	0,02	0,05	0,01	0,01	0,01
Phosphore particulaire total (mg/l)	—	—	—	—	—	—	0,01	0,02	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03
Température (°C)	—	—	—	—	—	—	12,00	18,50	24,50	6,50	18,25	24,00	12,00	19,13	22,50	5,80	15,58	23,50
Turbidité (UNT)	—	—	—	—	—	—	2,80	3,28	4,00	1,50	2,05	3,30	2,10	18,23	66,00	2,10	3,50	4,70

* : # 3010016 est la station à 2,2 km. en amont du pont-route de Victoriaville (amont du réservoir)
** : # 3010012 est la station au pont-route de Saint-Samuel-de-Horton (aval du réservoir)

SOURCE : MEF, Direction de la qualité des cours d'eau.

Les données de qualité de l'eau de la station de St-Samuel-de-Horton (en aval du réservoir) indiquent qu'entre 1988 et 1991 il n'y a pas eu de patron d'augmentation ou de diminution significative de l'ensemble des paramètres suivis. A partir des données disponibles, il n'est pas possible d'observer de patrons de variation saisonnière dans ces paramètres. On peut toutefois observer un pic dans les concentrations de chlorophylle-a qui survient généralement à la fin août-début septembre et une augmentation des concentrations d'oxygène dissous qui survient à l'automne avec la baisse de la température de l'eau. La concentration en chlorophylle-a est un bon indicateur de la présence d'algues phytoplanctoniques dans le réservoir. Il est très probable que les patrons de variation temporels de la qualité de l'eau de la rivière sont influencés par le débit.

La qualité de l'eau de la rivière Bulstrode est typique d'un milieu fortement influencé par l'activité agricole intensive. On y observe des concentrations de coliformes fécaux dépassant régulièrement le critère de qualité de l'eau de 200 coliformes fécaux/ 100 ml pour la pratique de la baignade (MENVIQ, 1991). Ces concentrations élevées (jusqu'à 8000 coliformes/100 ml) sont très probablement le résultat des apports originant des matières fécales animales (fosses à purin, épandage du fumiers, etc.) ainsi que des apports d'effluents domestiques. La rivière Bulstrode présente des signes d'eutrophisation évidents. On y observe des concentrations de nutriments relativement élevées, un pH basique et une DBO₅ élevée. Des concentrations en phosphore total supérieures à 0,03 mg/l sont un signe d'eutrophisation d'un plan d'eau (MENVIQ, 1991). De même, le critère de qualité de l'eau pour la protection de la vie aquatique pour la DBO₅ est de 3,0 mg/l et on observe dans la rivière Bulstrode des valeurs se rapprochant de ce critère.

Mentionnons également la présence d'un secteur d'érosion très intense le long de la rivière Bulstrode au sud-est de Princeville. Ce secteur a contribué et contribue encore à l'apport de sédiments dans la partie aval de la rivière Bulstrode et dans le réservoir Beaudet. Selon Richard Leblanc, ingénieur agronome au bureau régional du MAPAQ (comm. pers., 1995), à certains endroits, le talus des rives de ce secteur recule de quelques mètres à chaque année en période de crue.

2.5 Qualité des sédiments

Des échantillons de sédiments ont été prélevés lors de la campagne réalisée par Roche Itée en février 1995. L'échantillonnage des sédiments a été réalisé à l'aide d'une benne Petersen selon la méthode proposée par Environnement Canada (Environnement Canada, 1983). L'analyse granulométrique des sédiments a été faite par les Laboratoires d'Expertise du Québec (L.E.Q.) et les analyses physico-chimiques par le laboratoire Envirolab inc., tous deux accrédités auprès du MEF pour la réalisation de ce type d'analyses. Les analyses ont été réalisées selon les méthodes suggérées dans le "Guide méthodologique de caractérisation des sédiments".

Cette campagne d'échantillonnage avait pour but de vérifier la nature des sédiments ainsi que leurs caractéristiques physico-chimiques afin de vérifier leur potentiel de relargage des éléments nutritifs vers la colonne d'eau. En effet, dans certaines conditions, la présence d'éléments nutritifs en concentrations importantes dans les sédiments peut entraîner une remise en solution de ces éléments, les rendant ainsi disponibles dans la colonne d'eau pour la croissance des algues et plantes aquatiques. Ce réservoir de nutriments peut dans certaines conditions contribuer de façon significative à la charge en nutriments d'un plan d'eau (Ryding et Rast, 1994) et ainsi contrer les efforts de réhabilitation de celui-ci. Les sédiments ont souvent tendance, en conditions anoxiques, à relarguer des nutriments dont principalement le phosphore qui représente souvent l'élément limitatif de la croissance des algues et plantes aquatiques (Nürnberg, 1994).

Les résultats de la campagne d'échantillonnage sont présentés au tableau 2.9 et la localisation des stations est présentée aux cartes 4 et 5 (en pochette).

TABLEAU 2.9

Qualité des sédiments du réservoir Beaudet (Roche, février 1995)

PARAMÈTRES	STATIONS*						
	1	2	3	4	5	6	7
GRANULOMÉTRIE							
Gravier (%)	6,4	10,1	—	—	—	—	—
Sable (%)	49,2	44,9	1,2	33,6	1,8	7,9	15,3
Silt (%)	44,4	45	98,8	66,4	98,2	92,1	84,7
PHYSICO-CHIMIE							
Fer (mg/kg)	18000	32 000	41 000	30 000	30 000	32 000	25 000
Matière organique (%)	5,3	9,7	9,3	7,6	10,0	6,4	4,6
Phosphore total (mg/kg)	200	94	79	82	20	210	160
Potentiel redox (mV)	120	35	-45	29	120	19	47
ÉPAISSEUR DE GLACE (m)	0,24	0,36	0,35	0,36	0,34	0,38	0,36
ÉPAISSEUR D'EAU (m)	1,11	1,92	3,30	1,18	3,92	2,33	1,95
ÉPAISSEUR APPROXIMATIVE DES SÉDIMENTS (m)	0,06	0,12	0,50	0,11	0,50	0,38	0,52

* : Voir cartes 4 et 5 pour localisation des stations.

L'épaisseur de glace aux sites échantillonnés variait entre 24 et 38 cm et l'épaisseur d'eau, entre 1,11 et 3,92 m. On a également déterminé de façon approximative que l'épaisseur des sédiments meubles variait entre 6 et 52 cm. Quatre des sept stations visitées possèdent des sédiments fins (> 84% silt) tandis que les autres présentent des sédiments dont la granulométrie était plus grossière et composés d'un mélange de silt, de sable et de gravier. En général les sédiments fins se retrouvent dans les stations où la profondeur est la plus élevée. Il n'est pas possible d'observer de patrons de variation spatiale nettes pour les différents paramètres physico-chimiques. Les concentrations de fer, de phosphore total, le contenu en matière organique et le potentiel redox des sédiments démontrent des valeurs intermédiaires. Ces caractéristiques physico-chimiques ainsi que les conditions d'oxygénation des sédiments du réservoir Beaudet ne favorisent pas le relargage des nutriments vers la colonne d'eau. En effet, les éléments nutritifs qui sont transportés par la rivière Bulstrode auront plutôt tendance à être captés par les sédiments et être utilisés par certaines plantes aquatiques qui, au lieu de puiser leurs nutriments dans la colonne d'eau, les puisent dans les sédiments. Toutefois, les échanges qui surviennent entre la colonne d'eau et les sédiments sont des phénomènes dynamiques. Il est donc possible, advenant des modifications de la qualité de l'eau du réservoir, que le potentiel de relargage des sédiments augmente.

3.0 MILIEU BIOLOGIQUE

3.1 Phytoplancton

Les données disponibles sur les communautés d'algues phytoplanctoniques présentes dans le réservoir Beaudet proviennent des relevés effectués en juin et juillet 1979 dans le cadre de l'étude de Desrochers et al. (1979) et des données récoltées à la prise d'eau de juillet à octobre, en 1989 et 1990. Les communautés d'algues phytoplanctoniques du réservoir Beaudet sont représentées par trois principaux groupes: les algues vertes (Chlorophytes), les Chrysophytes, dont font partie les diatomés ainsi les algues bleues-vertes (Cyanophytes). Parmi les Chrysophytes, qui sont représentées par plusieurs groupes d'algues, on remarque les genres *Nitzschia* et *Navicula* qui, peu importe le lieu géographique, sont souvent associés à des conditions d'eutrophisation (Hancock, 1973 et 1979).

Les deux groupes d'algues qui ont probablement contribué à donner une coloration verdâtre aux eaux du réservoir Beaudet sont les algues vertes (Chlorophytes) et les algues bleues-vertes (Cyanophytes). Ces algues colorent les eaux de façon importante lors de "blooms" (croissance rapide des algues) qui surviennent lorsqu'un certain nombre de conditions préalables sont remplies. Ces conditions sont: une grande disponibilité d'éléments nutritifs dans l'eau, des conditions d'ensoleillement propices et une température de l'eau élevée. Le réservoir Beaudet présente ces conditions et l'eau chaude provenant de l'usine Lactantia contribue certainement à accentuer ce phénomène. De plus, les éléments nutritifs sont rendus disponibles par les apports d'un bassin versant fortement agricole, les eaux de drainage urbain et celles du parc industriel.

Les algues bleues-vertes sont des algues qui apparaissent généralement dans des conditions où les concentrations d'éléments nutritifs atteignent des valeurs très élevées. Elles sont le signe d'un niveau d'eutrophisation (ou de vieillissement d'un plan d'eau) très avancé. Ces algues s'agglomèrent en colonies filamenteuses d'un vert tendre presque fluorescent et limitent l'utilisation du plan d'eau à des fins récréatives ainsi que par la faune aquatique.

Les algues vertes sont généralement plus foncées et moins voyantes que les algues bleues-vertes. De plus, elles ne s'agglomèrent pas en colonies aussi denses et filamenteuses que les algues bleues-vertes et ne limitent pas de façon aussi importante l'utilisation du plan d'eau par la faune aquatique ou à des fins récréatives.

Aucune donnée récente sur l'abondance relative de ces deux groupes d'algues n'est disponible, les derniers relevés ayant été réalisés à l'été de 1979. En juin 1979, l'abondance relative des algues bleues-vertes atteignait jusqu'à 35% de l'ensemble des algues dénombrées (tableau 3.1). Selon les informations fournies par la ville de Victoriaville, c'est à l'été 1985 qu'on a observé les blooms d'algues phytoplanctoniques les plus importants des dernières années. D'après les observations effectuées par les employés de la ville à cette époque, il semblerait que la coloration se rapprochait davantage de celles des algues vertes que de celle des algues bleues-vertes.

3.2 Plantes aquatiques

Selon de nombreux observateurs de la région, la prolifération des plantes aquatiques n'a cessé de progresser depuis la création du réservoir. C'est en 1991 qu'on a observé les accumulations les plus importantes de plantes aquatiques (figure 1). Toutefois, outre ces observations, aucun rapport n'a été effectué sur le réservoir Beaudet depuis 1983 de sorte qu'il n'existe aucune information écrite sur les superficies couvertes par les plantes aquatiques ainsi que les principales espèces qui étaient présentes en 1991.

TABLEAU 3.1

Abondance relative (%) des principaux organismes phytoplanctoniques échantillonnés en 1979, 1989 et 1990

		Juin 1979 ⁽¹⁾	Juillet 1979 ⁽¹⁾	Juillet à novembre 1989	Juillet à août 1990
Chlorophyta					
Microsporaceae	Microspora	1	25		
Ulotrichaceae	Ulotrix	15		✓	
Hydrodistyaceae	Pediastrum	1	20		
Oocystaceae	Ankistrodesmus	<1			
	Selenastrum		<1		
Zignemataceae	Mougeotia	<1			
Spirogyra	Spirogyra	<1		✓	✓
	Zignemopsis	<1			
	Closterium	10	<1		✓
Botryococcaceae	Botryococcus		1		
Scenedesmaceae	Scenedesmus		<1		
	Oedogonium				✓
	Staurastrum			✓	✓
	Cosmarium			✓	✓
Chrysophyta					
Ochromonadoceae	Dinobryon	2	25	✓	
	Diatoma			✓	✓
	Synedra			✓	✓
	Melosira			✓	✓
	Cymbella			✓	✓
	Nitzschia			✓	✓
	Cyclotella			✓	✓
	Navicula			✓	✓
	Gophonema			✓	✓
Xanthophyceae					
Centriactaceae	Centriactus		<1		
Bacillariophyceae					
Naviculaceae	Amphipleura	15	<1		
Meridionaceae	Meridion	<1	1		✓
Fragilariaceae	Asterionella	<1	25	✓	✓
	Fragillaria	15	1		✓
Eunotiaceae	Ceratoneis	<1			
Pyrrophytes					
Dinophyceae					
Ceratiaceae	Ceratium		<1		
Cyanophyta					
Oscillatoriaceae	Oscillatoria	35	1		
	Anabaena			✓	✓
	Lepocinalis			✓	✓
	Trachelomonas			✓	✓
	Gomphosphaeria			✓	✓

(1) Abondance relative (%)

✓ : Présence

Il existe seulement deux documents traitant de la végétation du secteur du réservoir Beaudet, soit l'inventaire biophysique de la rivière Bulstrode effectué avant la création du réservoir (Auger et Guillemette, 1973) et la diagnose écologique du barrage-réservoir de la rivière Bulstrode (Desrochers et al., 1979). Les données sur la végétation répertoriées dans ces documents nous indiquent les espèces de plantes aquatiques présentes dans le secteur du réservoir avant et quelques années suivant sa mise en eau (tableau 3.2). Ces espèces, puisque déjà présentes avant ou au début de la mise en eau du réservoir, devraient l'être encore en 1995. Cependant, leurs proportions sont probablement différentes d'autrefois puisque les conditions physiques et chimiques de l'eau du réservoir ont beaucoup changé depuis la création du barrage.

La création du barrage a eu pour conséquence de modifier le régime hydrique du secteur du réservoir avant sa mise en eau. Tel que mentionné précédemment, la profondeur d'eau est un facteur déterminant sur la présence des plantes aquatiques. Ainsi, les plantes aquatiques présentes avant la création du barrage ont probablement été remplacées par d'autres espèces mieux adaptées aux nouvelles conditions du milieu ou encore, ces mêmes espèces se sont établies dans d'autres secteurs du réservoir maintenant plus propices à leur développement. Le tableau 3.2 illustre bien le fait que les plantes de prairie humide ont laissé place aux plantes aquatiques macrophytes suite à la création du réservoir.

Depuis la création du réservoir, la sédimentation a eu pour effet d'en modifier la bathymétrie initiale de sorte qu'il y a eu probablement un changement dans la distribution et la composition des plantes aquatiques du réservoir avec le temps.

La création du réservoir a également eu pour effet d'accumuler via les sédiments des substances nutritives pour les plantes aquatiques telles que l'azote et le phosphore dont la source est essentiellement les activités agricoles. La présence de substances nutritives dans l'eau, principalement le phosphore, favorise grandement la prolifération de la majorité des plantes aquatiques. Notons que certaines plantes submergées ont un développement particulièrement rapide lorsqu'elles sont exposées à des conditions idéales. L'élodée et le potamot sont des plantes submergées qui étaient présentes avant ou quelques années après la création du réservoir.

TABLEAU 3.2

Liste des plantes aquatiques macrophytes et des plantes de prairie humide inventoriées dans la rivière Bulstrode au site du réservoir Beudet avant sa mise en eau en 1973 et après en 1979

Plantes de prairie humide	Plantes aquatiques macrophytes
Cinna arundinacea (1)	Alisma triviale (1)
Cinna latifolia (1)	Carex sp. (1) (2)
Eupatorium maculatum (1)	Eleocharis palustris (1)
Eupatorium perfoliatum (1)	Elodea canadensis (2)
Galeopsis tetrahit (1)	Equisetum fluviatilis (2)
Impatiens capensis (1)	Glyceria striata (2)
Lycopus americanus (1)	Juncus articulatus (1)
Lycopus uniflorus (1)	Juncus canadensis (1)
Mentha canadensis (1)	Juncus compressus (1)
Oenothera sp. (1)	Juncus dudleyi (1)
Phalaris arundinacea (1)	Juncus effusus (1) (2)
Polygonum hydropiper (1)	Juncus filiformis (2)
Polygonum hydropiperoides (1)	Polygonum amphibium (2)
Spartina pectinata (1)	Polygonum sp. (1)
	Potamogeton crispus (1)
	Potamogeton gramineus (2)
	Potamogeton pectinatus (2)
	Sagittaria sp. (1)
	Scirpus atrocinctus (1)
	Scirpus atrovirens (1) (2)
	Scirpus cyperinus (1)
	Scirpus validus (1)
	Sparganium americanum (1)
	Sparganium angustifolium (1)
	Typha latifolia (2)

SOURCES:

(1) Auger et Guillemette, 1973

(2) Desrochers et al., 1979

Ces plantes ont probablement profité de conditions idéales de croissance que l'on retrouve dans le réservoir Beaudet et constituent vraisemblablement une proportion importante du volume des plantes qui s'y développent à chaque été.

Seul un inventaire réalisé idéalement pendant la saison estivale permettrait de connaître les espèces et d'estimer l'importance relative des différents groupes de plantes aquatiques présents actuellement dans le réservoir Beaudet. Ces informations sont indispensables pour l'application de certaines solutions proposées dans ce document, notamment en ce qui a trait aux techniques de contrôle des plantes aquatiques détaillées à la section 7.0.

3.3 Poissons

A notre connaissance, deux inventaires ont été réalisés afin de caractériser les communautés de poissons présentes dans le réservoir Beaudet. Auger et ses collaborateurs (1973) ont réalisé un inventaire des espèces de poissons retrouvées en différents points de la rivière Bulstrode. Pour leur part, Desrochers et coll. (1979) ont inventorié le réservoir Beaudet après sa mise en eau.

En 1973, onze espèces de poissons appartenant à quatre familles ont été pêchées (tableau 3.3); dix espèces de poissons ont été capturées en aval du site du réservoir, cinq espèces au site, et cinq en amont du site.

En 1979, le réservoir Beaudet a été échantillonné et huit espèces ont été recensées. On note l'apparition de la barbote brune qui était absente de l'inventaire de 1973. Le nouvel habitat créé par la formation du réservoir (petit lac aux eaux plutôt chaudes et peu profondes) convient parfaitement à cette espèce, ce qui explique sa présence lors de l'inventaire de 1979. En ce qui concerne les espèces de poissons vivant actuellement dans le réservoir, on suppose qu'elles sont les mêmes qu'en 1979. De ces espèces, seulement quatre possèdent une diète composée en tout ou en partie de phytoplancton ou de matières végétales: la ouitouche, le mené pâle, le mené à nageoires rouges et le mulot à cornes.

TABLEAU 3.3

Liste des espèces de poissons capturées dans la rivière Bulstrode avant la mise en eau du réservoir (1973) et dans le réservoir Beaudet après sa mise en eau (1979).

FAMILLE <i>Nom scientifique</i> Nom commun	Rivière Bulstrode (1973)			Réservoir Beaudet (1979)	Alimentation
	Secteur en amont du site du réservoir	Secteur du site du réservoir	Secteur en aval du site du réservoir		
CYPRINIDÉS					
<i>Semotilus corporalis</i> Ouitouche		✓	✓	✓	Benthivore, piscivore et matières végétales
<i>Notropis volucellus</i> Mené pâle	✓	✓	✓	✓	Planctivore (algues vertes et bleue-vertes) et benthivore
<i>Notropis de liciosus stramineus</i> Mené paille	✓	✓	✓	✓	Benthivore
<i>Notropis cornutus</i> Mené à nageoires rouges	✓	✓	✓		Benthivore et planctivore (algues et plantes aquatiques)
<i>Rhinichthys cataractae</i> Naseux des rapides			✓		Benthivore
<i>Exoglossum maxillingua</i> Bec-de-lièvre			✓	✓	Benthivore
<i>Semotilus atromaculatus</i> Mulet à cornes			✓		Benthivore, planctivore et matières végétales
CATOSTOMIDÉS					
<i>Catostomus commersoni</i> Meunier noir			✓	✓	Benthivore
CENTRARCHIDÉS					
<i>Ambloplites rupestris</i> Crapet de roche			✓	✓	Benthivore et piscivore
PERCIDÉS					
<i>Percina crapodes</i> Fouille-roche	✓				Planctivore et benthivore
<i>Etheostoma nigrum</i> Raseux-de-terre noir	✓	✓	✓	✓	Planctivore et benthivore
ICTALURIDÉS					
<i>Ictalurus nebulosus</i> Barbotte brune				✓	Benthivore

SOURCE: Auger et al. (1973) et Desrochers et al. (1979)

4.0 BILAN HYDRIQUE

Le réservoir Beaudet occupe le fond d'une cuvette artificielle servant de bassin d'accumulation des eaux pour l'approvisionnement en eau potable de la ville de Victoriaville. L'eau du réservoir provient de sources diverses parmi lesquelles se trouvent:

- les précipitations;
- des affluents plus ou moins importants;
- la nappe phréatique;
- et probablement les trop-pleins des fosses septiques et/ou des égouts sanitaires.

Les eaux de surfaces parvenant au réservoir y entraînent des résidus de toutes sortes, et en particulier des sédiments et des nutriments. De ce fait, la charge sédimentaire et organique de l'eau arrivant au réservoir engendre des modifications de sa profondeur et de la nature du fond. Les apports en eau contribuent au régime hydrologique du réservoir en faisant varier ces niveaux et participent aux phénomènes chimiques, biologiques et géologiques en transportant les éléments suivants:

- les matières dissoutes, telles que le phosphore, qui sont fonction du débit liquide;
- les sédiments tractés par roulement ou saltation;
- les sédiments en suspension.

En contrepartie, le réservoir Beaudet subit des pertes en eau. Celles-ci sont dues principalement:

- à la prise d'eau de la ville de Victoriaville;
- à l'évaporation du plan d'eau
- à l'infiltration de l'eau dans la nappe phréatique;
- à son exutoire (cote 128,78 m) qui régularise les apports en eau pour maintenir un niveau à peu près constant.

4.1 Apports en eau

Les apports en eau du réservoir Beaudet sont liés au bilan climatique prévalant dans la région de Victoriaville. Ces apports proviennent à la fois des précipitations nettes tombant directement sur le réservoir de même que de celles tombant sur le bassin versant de la rivière Bulstrode en amont du réservoir Beaudet (tableau 4.1).

Les précipitations nettes tombant sur le réservoir représentent la différence, sur une base mensuelle, entre les précipitations et l'évapotranspiration. Sachant que le réservoir possède une superficie de $0,69 \text{ km}^2$, le volume annuel d'eau tombant sur celui-ci est estimé à $431\,974,5 \text{ m}^3/\text{an}$.

Les apports provenant des précipitations nettes issues du bassin versant se résument par le régime hydrologique de la rivière Bulstrode à l'entrée du réservoir Beaudet. Le débit moyen annuel entrant dans le réservoir se situe à $8,52 \text{ m}^3/\text{s}$, soit $268\,743\,016,1 \text{ m}^3/\text{an}$ (tableau 4.1). Ce débit englobe à la fois le ruissellement, l'infiltration et les trop-pleins des fosses septiques et/ou des égouts sanitaires de tout le bassin versant en amont du réservoir.

4.2 Pertes en eau

La majorité des pertes en eau est engendrée par la prise d'eau de la ville de Victoriaville qui prélève $\pm 0,11 \text{ m}^3/\text{s}$ d'eau, soit environ $3\,468\,960 \text{ m}^3/\text{an}$ (tableau 4.1). L'infiltration de l'eau dans la nappe phréatique peut représenter environ $25 \text{ mm}/\text{an}$, soit $17\,250 \text{ m}^3/\text{an}$. Cette approximation est basée à la fois sur la formation géologique du fond du réservoir, sur les faibles valeurs de marnage mesurées sur ce réservoir et sur une étude sur des eaux souterraines de Simard & Des Rosiers (1979). Quant à l'exutoire du réservoir Beaudet, il déverse le trop-plein lorsque le niveau de l'eau est supérieur à $128,78 \text{ m}$ (Plan B-7730-14-R).

TABEAU 4.1
Bilan hydrique

MOIS	APPORTS EN EAU			PERTES EN EAU			BILAN HYDRIQUE		TAUX DE RENOUVELLEMENT*
	PRÉCIPITATIONS NETTES (m ³ /mois)	DÉBIT MOYEN NET (m ³ /mois)	TOTAL DES APPORTS (m ³ /mois)	INFILTRATION (m ³ /mois)	PRISE D'EAU (m ³ /mois)	TOTAL DES PERTES (m ³ /mois)	(m ³ /mois)		
								(jours)	
JANVIER	55 441,5	12 245 021,6	12 300 463,1	1 437,5	289 080,0	290 517,5	12 009 945,6	3	
FÉVRIER	53 447,4	13 634 599,7	13 688 047,1	1 437,5	289 080,0	290 517,5	13 397 529,6	3	
MARS	59 084,7	41 644 853,6	41 703 938,3	1 437,5	289 080,0	290 517,5	41 413 420,8	1	
AVRIL	31 250,1	64 416 451,4	64 447 701,5	1 437,5	289 080,0	290 517,5	64 157 184,0	1	
MAI	10 715,7	19 872 297,8	19 883 013,5	1 437,5	289 080,0	290 517,5	19 592 496,0	2	
JUIN	8 418,0	11 795 763,5	11 804 181,5	1 437,5	289 080,0	290 517,5	11 513 664,0	3	
JUILLET	-23 204,7	7 637 368,7	7 637 368,7	1 437,5	289 080,0	290 517,5	7 346 851,2	5	
AOÛT	20 700,0	14 285 884,7	14 306 584,7	1 437,5	289 080,0	290 517,5	14 016 067,2	3	
SEPTEMBRE	28 083,0	11 817 570,5	11 845 653,5	1 437,5	289 080,0	290 517,5	11 555 136,0	3	
OCTOBRE	39 095,4	21 113 479,7	21 152 575,1	1 437,5	289 080,0	290 517,5	20 862 057,6	2	
NOVEMBRE	71 249,4	30 449 764,1	30 521 013,5	1 437,5	289 080,0	290 517,5	30 230 496,0	1	
DÉCEMBRE	77 694,0	19 829 960,8	19 907 654,8	1 437,5	289 080,0	290 517,5	19 617 137,3	2	
ANNUEL	431 974,5	268 743 016,1	269 174 990,6	17 250,0	3 468 960,0	3 486 210,0	265 711 985,3	2	

* Temps requis en jours pour renouveler le volume total d'eau

4.3 Bilan hydrique total

Le bilan hydrique total du réservoir Beaudet a été calculé à partir du débit moyen mensuel, de tous les apports positifs et des pertes mentionnés précédemment. L'ensemble des résultats tant mensuels qu'annuels est présenté au tableau 4.1.

Le bilan hydrique total annuel se chiffre à 265 711 985,3 m³/an, ce qui contribue à renouveler l'eau du réservoir près de 219 fois par année, c'est-à-dire tous les deux jours. Fait à noter, bien que la compagnie Lactantia pompe de l'eau du réservoir à un rythme de 3,78 m³/minute pour refroidir ses systèmes, elle en retourne autant et ne contribue donc pas significativement à en affecter le bilan hydrique global.

Au cours du mois de juillet, le bilan hydrique est le plus faible, 7 346 900 m³ et engendre un taux de renouvellement de cinq jours. Ce faible renouvellement contribue au réchauffement des eaux du réservoir, ce qui représente des conditions idéales pour la croissance des plantes aquatiques et des algues phytoplanctoniques.

5.0 ÉLÉMENTS NUTRITIFS

5.1 Rivière Bulstrode

5.1.1 Sources diffuses

Les sources d'éléments nutritifs d'origine diffuse sont des sources ne provenant pas d'un point précis ou d'un émissaire. Il s'agit plutôt d'éléments nutritifs répartis dans le bassin versant et captés principalement par l'eau de ruissellement et la nappe phréatique. Ces éléments nutritifs sont par la suite transportés vers les cours d'eau en aval et éventuellement dans le réservoir.

Selon l'étude réalisée par Blanchette et coll. (1983), une partie importante (40%) du bassin versant de la rivière Bulstrode est à vocation agricole principalement orientée vers les fermes laitières (74%) et les fermes d'élevage bovin (11%). Ces proportions ont peu changé depuis ce temps. Les fermes laitières représentent toujours 74% des fermes de ce bassin versant tandis que les fermes d'élevage bovin atteignent maintenant près de 22% du nombre total de fermes (selon Richard Leblanc du Bureau de renseignements agricoles (B.R.A.) de Victoriaville, 1995). Ce type d'utilisation du sol est parmi ceux qui contribuent le plus à amener du phosphore vers les cours d'eau. Ryding et Rast (1994) estiment que les apports de phosphore provenant des milieux agricoles peuvent atteindre des valeurs variant entre 0,05 et 0,65 kg de P/ha/année, selon qu'il s'agit de terres cultivées ou de terres rurales non cultivées et selon la texture de l'horizon superficiel du sol. Dans le bassin versant du réservoir Beaudet, ces apports pourraient représenter de 94 à 160 kg de P/année. Cette évaluation est basée sur les valeurs de superficies occupées par la culture des céréales (13% ou 165 ha) et du fourrage (87% ou 1050 ha) dans le bassin versant de la rivière Bulstrode, à la hauteur du réservoir Beaudet (Richard Leblanc, B.R.A., 1995). Le secteur situé en aval de Chester Nord est celui où l'on retrouve la plus vaste zone agricole et par conséquent, les apports en phosphore de sources diffuses les plus importants. Après consultation avec le MEF et les MRC Arthabaska et de l'Érable, il n'existe pas actuellement, de programme de contrôle des sources de pollution agricole mis en application dans le bassin versant. Un programme de réduction de la pollution d'origine agricole serait

grandement requis afin de contrôler de façon durable les apports d'éléments nutritifs vers le réservoir Beaudet.

Les zones à vocation urbaine contribuent également aux apports diffus de phosphore, mais de façon moindre. Compte tenu de la faible population des municipalités présentes dans le bassin versant, les apports de phosphore émanant des fosses septiques, des champs d'épuration et du ruissellement en milieu urbain sont vraisemblablement faibles par rapport à ceux du milieu agricole. D'ailleurs, selon Blanchette et coll., 1983, la zone comprise entre le réservoir Beaudet et le 12^e Rang Est de Princeville aurait le plus d'effet sur le réservoir.

Finalement les zones forestières contribuent proportionnellement peu aux apports en phosphore par rapport aux autres sources puisqu'une grande partie des éléments nutritifs y est captée par la végétation.

Ce sont les sous-bassins (1 à 7 et 17 et 28) qui semblent contribuer le plus aux apports en phosphore d'origine diffuse (carte 1 en pochette).

5.1.2 Sources ponctuelles

Comparativement aux sources diffuses, il existe proportionnellement peu de sources ponctuelles d'éléments nutritifs dans le bassin versant de la rivière Bulstrode, les principales étant les eaux usées des municipalités de ce bassin versant. En effet, les eaux usées de ces municipalités ne subissent aucun traitement avant leur rejet dans la rivière. Le tableau 5.1 présente la liste des municipalités situées dans le bassin versant de la rivière Bulstrode et leur population. Bien que certaines municipalités possèdent un réseau de collecte des eaux usées, aucune n'en effectue le traitement.

TABLEAU 5.1

Liste des municipalités du bassin versant de la rivière
Bulstrode, en amont du réservoir Beaudet

Municipalité	Population	
	régulière	saisonnière*
Chester	310	90
Chester-nord	260	45
Saint-Fortunat	360	40

SOURCE: MEF, Service d'évaluation des rejets toxiques.

*: Aux fins d'évaluation des charges de phosphore, on considère que la population saisonnière séjourne 2 mois par année dans ce secteur.

En se basant sur des valeurs unitaires de 0,002 kg de P/habitant/année (Ryding et Rast, 1994), on évalue à 2 kg/an les apports de phosphore provenant des eaux usées qui sont directement rejetées dans la rivière Bulstrode (après leur collecte par les réseaux d'égout existant). Ces apports ne représentent que 1 à 2% des apports diffus d'origine agricole.

Selon les informations fournies par le MEF, il n'existe pas d'industrie majeure rejetant ses effluents dans la rivière Bulstrode.

5.2 Réservoir Beaudet

5.2.1 Ruissellement du parc industriel

La superficie du parc industriel est relativement limitée par rapport aux superficies des terres agricoles du bassin versant. Toutefois, les eaux de drainage du parc industriel se déversent directement dans le réservoir Beaudet y entraînant des éléments nutritifs. L'étude de Blanchette et coll. (1983) a bien caractérisé la qualité des eaux d'écoulement pluvial qui se déversent dans le réservoir. En général, ces eaux contiennent suffisamment d'éléments nutritifs pour occasionner des accumulations locales d'algues et de plantes aquatiques à leur point d'entrée dans le réservoir. Elles contribuent par conséquent aux apports totaux de phosphore dans le réservoir. Blanchette et coll. (1983) mentionnent que ces éléments nutritifs peuvent provenir entre autres, du lessivage des terrains industriels, des eaux de lavage des imprimeries des Emballages Cascades inc. qui sont reliées au réseau d'égout pluvial ainsi que des produits de nettoyage et des détergents du garage lave-auto Texaco. De plus, l'usine de la compagnie Lactantia pompe environ 3,8 m³/minute d'eau du réservoir Beaudet afin de refroidir ses systèmes et la retourne à des températures de 27 à 28°C (M. Guy Gaudette, Ingénieur, Lactantia). La présence d'éléments nutritifs en concentration importante dans le réservoir et la température élevée des eaux de refroidissement sont deux facteurs importants favorisant la prolifération excessive d'algues et de plantes aquatiques.

De plus, la présence de coliformes fécaux en concentration importante dans le réseau pluvial indique que d'autres éléments nutritifs provenant de mauvais raccordements ou de raccordements illégaux au réseau d'égout sanitaire ou encore de fosses septiques défectueuses pourraient s'y retrouver.

Parmi les autres polluants détectés dans le réseau d'égout pluvial notons la présence d'huile, de colorants et probablement de détergents. Selon les responsables de la ville de Victoriaville et du MEF, aucune mesure concrète n'a été prise depuis 1983 afin améliorer la qualité de l'eau du réseau pluvial.

Le drainage du parc industriel vers le réservoir Beaudet entre en conflit direct avec la vocation de ce dernier. Ces eaux devraient être traitées avant de se déverser dans le réservoir ou tout simplement être réorientées vers un autre bassin versant ou le réseau d'égout sanitaire.

5.2.2 Sédiments

La présence de sédiments riches en matière organique et en éléments nutritifs au fond d'un réservoir peut représenter une source non négligeable pour la croissance d'algues et de plantes aquatiques. Il existe plusieurs cas de lacs où, malgré une réduction substantielle des apports d'eaux usées domestiques, on n'a observé aucune baisse significative des concentrations de phosphore total dans la colonne d'eau. Les concentrations en phosphore total dans ces lacs ont décliné significativement seulement après le dragage de la couche de sédiments riches en éléments nutritifs.

Dans le cas du réservoir Beaudet, on sait que lors de la mise en eau du réservoir, il existait déjà, dans ce secteur de la rivière Bulstrode, des zones marécageuses ainsi que des terres agricoles qui n'ont pas été décapées. De plus, au fil des années, la rivière Bulstrode a transporté des quantités appréciables d'éléments nutritifs, souvent associés aux matières particulaires, qui ont sédimenté dans le réservoir Beaudet. Ces deux sources d'éléments nutritifs peuvent, dans certaines conditions, représenter un réservoir de combustible à long terme pour la croissance d'algues et de plantes aquatiques.

Les facteurs qui favorisent le relargage de phosphore des sédiments vers la colonne d'eau sont d'une part les turbulences (induites par le vent, les courants, la stratification thermique) qui peuvent survenir à l'interface eau - sédiments et d'autre part, des faibles concentrations d'oxygène rencontrées à cette interface. D'après les profils d'oxygène et de température qui ont été réalisés par le MEF de 1977 à 1980, il semble y avoir un mélange relativement uniforme de la colonne d'eau sans vraie stratification thermique. De plus, les concentrations d'oxygène demeurent plutôt bonnes, même en profondeur. Par ailleurs, les caractéristiques physico-chimiques de l'eau et des sédiments ne favorisent pas le relargage des nutriments vers la colonne d'eau mais plutôt leur sédimentation vers le fond du réservoir. Toutefois, toute modification de la qualité de l'eau qui favoriserait des conditions anoxiques à l'interface eau-sédiment ou une différence plus importante entre les concentrations d'éléments nutritifs dans les sédiments et dans l'eau, pourrait modifier le potentiel de relargage des sédiments.

5.2.3 Autres sources

Retombées atmosphériques

Les retombées atmosphériques sèches ou liquides se déposant à la surface du plan d'eau contribuent à sa charge en nutriments. Ces apports sont évidemment proportionnels à la superficie du lac. Les apports atmosphériques sur l'ensemble du bassin versant sont déjà incluses dans les charges des eaux de ruissellement d'origine rurale ou urbaine.

Les nutriments d'origine atmosphérique proviennent souvent de sources éloignées du bassin versant du réservoir. De façon générale, les apports des zones urbaines proviennent surtout des émissions liées aux combustibles alors qu'en région rurale, l'érosion éolienne des sols représente une source importante de phosphore (Ryding et Rast, 1994). D'après les documents consultés et selon le type d'occupation du sol du bassin versant, les dépôts atmosphériques de phosphore total sont les suivants:

Hendry et coll. (1981) ¹	
Zones urbaines	0,48 kg/ha/an
Zones rurales (non agricoles)	0,27 kg/ha/an
Zones rurales (agricoles)	0,66 kg/ha/an
Reckhow et coll (1980) ¹	
Terres boisées	0,07 - 0,54 kg/ha/an
Terres rurales agricoles	0,12 - 0,97 kg/ha/an
Terres urbaines industrielles	0,26 - 3,67 kg/ha/an

D'après ces données, la valeur de 0,4 kg/ha·an pourrait vraisemblablement être appliquée au réservoir Beaudet. Ce dernier ayant une superficie de 69 ha, c'est donc jusqu'à 28 kg de P par année qui pourraient se déposer sur le réservoir.

Nappe phréatique

L'eau provenant de la nappe phréatique et entrant dans le réservoir Beaudet peut également contribuer de façon négligeable à sa charge en phosphore. Simard et Des Rosiers (1980) estiment que la concentration des eaux souterraines en P total est de 0,022 mg/l (concentration moyenne de 216 échantillons répartis sur tout le territoire du Québec). Par conséquent, les apports provenant de cette source peuvent être considérés comme négligeables.

¹ Tiré de Ryding et Rast, 1994.

6.0 CONTRÔLE DES SOURCES D'ÉLÉMENTS NUTRITIFS

Le contrôle des sources d'éléments nutritifs arrivant au réservoir Beaudet est probablement la méthode la plus durable de contrôler la prolifération excessive d'algues et de plantes aquatiques. Toutefois, les interventions requises pour ce type de contrôle sont souvent coûteuses initialement puisqu'elles doivent être appliquées à l'échelle du bassin versant et plus particulièrement dans les zones contribuant le plus aux apports. C'est pourquoi nous présentons ci-après une série de mesures de contrôle à **court terme** qui s'attaquent aux sources d'éléments nutritifs les plus importantes et qui peuvent être appliquées simultanément aux plantes aquatiques et algues phytoplanctoniques. Nous présentons également certaines mesures de contrôle à long terme qui doivent être prises en considération dans une perspective de développement du bassin versant à **long terme** afin de préserver les ressources en eau du réservoir Beaudet.

6.1 Contrôle à court terme

6.1.1 Contrôle de la pollution diffuse d'origine agricole à l'aide de marais artificiels

La pollution diffuse constitue un facteur important dans la dégradation de la qualité des cours d'eau du Québec. La pollution diffuse est moins facile à identifier que la pollution générée par les industries ou par les eaux usées des municipalités pour lesquelles un émissaire est facilement repérable. Elle provient essentiellement des débordements périodiques du réseau pluvial dans les villes, des fosses septiques et champs d'épuration en mauvais état, des activités minières, des sites d'enfouissement sanitaire dont l'étanchéisation fait défaut et des activités agricoles. Ponctuellement, chacune des sources de pollution peut sembler peu importante. Toutefois, la somme de ces sources de pollution constitue une quantité importante de contaminants et de nutriments qui sont déversés dans nos cours d'eau.

Autrefois, les animaux de ferme étaient élevés en petits nombres, les activités des fermes étant plus diversifiées. Ces faibles densités de populations animales avaient donc peu de conséquence sur les milieux aquatiques puisque les contaminants étaient acheminés à travers de grandes superficies, et étaient recyclés par les sols. Cependant, la révolution verte du monde agricole a favorisé l'intensification des élevages sur des superficies de plus en plus restreintes, ce qui a entraîné une concentration des contaminants dans les effluents provenant des établissements de production animale.

Les cultures végétales contribuent également à la pollution diffuse. L'augmentation de la production végétale a été réalisée à l'aide d'une grande quantité d'intrants fertilisants et d'une vaste gamme de pesticides. L'érosion intensive des sols qui sévit actuellement est un vecteur de transport qui augmente la quantité de contaminants atteignant les cours d'eau. De plus, l'élimination de la végétation en bordure des cours d'eau en milieu agricole (due au redressement des cours d'eau, au piétinement de la végétation par le bétail et à la nécessité de cultiver la plus grande superficie possible pour demeurer compétitif) a également contribué de façon considérable à la détérioration de la qualité de l'eau.

Ainsi, les principaux tributaires du fleuve Saint-Laurent qui sont situés en milieu agricole sont généralement contaminés. L'état actuel de la qualité des eaux de la rivière Bulstrode, tributaire de la rivière Nicolet, correspond tout à fait à ce portrait. Selon le MEF (1995), la pollution du bassin versant de la rivière Bulstrode est essentiellement d'origine agricole.

Afin de diminuer la pollution des cours d'eau par les activités agricoles, il devient primordial de trouver des solutions. D'abord, une modification des pratiques agricoles permettra de diminuer la quantité de contaminants qui atteindront les cours d'eau. Ces pratiques de conservation sont, par exemple, le maintien de la matière organique, la rotation des cultures, les cultures intercalaires, le remaniement minimum du sol, pour ne nommer que les principales.

Toutefois, bien que ces pratiques agricoles constituent la base de l'amélioration à long terme de la qualité des effluents agricoles, la quantité de contaminants produite par unité de surface demeure encore trop importante pour permettre l'élimination complète de ces contaminants par le milieu naturel. La concentration des élevages et des cultures est à l'origine de ce problème et n'est évidemment pas modifiable à court et même à moyen terme. Il est donc impératif de trouver une solution de traitement des effluents d'origine agricole.

Bien entendu, les propriétaires d'entreprises agricoles ne peuvent défrayer les coûts d'installation et d'opération d'un système de traitement conventionnel. Ils n'ont également pas de temps à consacrer à l'entretien et à l'opération de tels systèmes. Le système de traitement par marais épurateur s'avère donc une application très intéressante dans le traitement des effluents d'origine agricole. Il s'agit d'un système de traitement dit "passif": une fois en fonction, le système reçoit les eaux contaminées et assure leur traitement à long terme. Il peut même être conçu pour traiter les effluents de production animale en période hivernale. Ce système est peu dispendieux à construire et n'occasionne que très peu de frais d'opération ou d'entretien. De plus, les frais de construction peuvent être diminués du fait que les agriculteurs possèdent généralement de la machinerie qui peut être mise à contribution lors des travaux de construction. Ils possèdent également les connaissances et l'expérience qui permettront une plantation adéquate des végétaux dans les milieux humides et le maintien du couvert végétal en bon état.

L'utilisation de marais artificiels pour le traitement des eaux polluées consiste à créer un milieu vivant (écosystème) capable de diminuer efficacement la charge de contaminants aquatiques par les nombreux processus d'épuration qu'il favorise. La capacité épuratrice des marais est reconnue depuis longtemps. L'eau, le sol et la rhizosphère des plantes aquatiques sont la source de nombreux processus physiques, chimiques et biologiques qui ont la propriété de diminuer considérablement la concentration des polluants aquatiques. Les marais artificiels sont beaucoup plus performants que les marais naturels car leur conception permet d'optimiser les facteurs responsables de l'épuration de l'eau.

La pollution qui provient de l'amont du réservoir Beaudet est essentiellement agricole. L'industrie laitière en est la principale responsable. Quelques entreprises d'élevage du boeuf et du porc font également partie de l'activité agricole du bassin versant. Seulement 50 % des fermes ont des structures d'entreposage du fumier et plus de 95 % des agriculteurs utilisent des engrais chimiques. Les fumiers et les lisiers sont épandus au printemps et à l'automne sur des cultures qui sont en grande partie des céréales (avoine, maïs, orge et seigle) et des fourrages (luzerne, mil, trèfle, maïs à ensilage). Également, la culture des céréales nécessite l'emploi d'herbicides qui peuvent contaminer les eaux du bassin versant. Toutefois, l'intensité de l'activité agricole varie à l'intérieur du bassin versant. Ainsi, les sous-bassins compris dans les limites municipales de Princeville et de St-Norbert-d'Arthabaska (carte 1, sous-bassins nos 1 à 7, 27 et 28) sont ceux où l'on retrouve la plus grande activité agricole. Dans ce secteur, presque toutes les superficies sont en culture, on y dénombre un grand nombre de fermes et il y subsiste peu de lots boisés. En amont de ce secteur, soit les autres sous-bassins, la proportion de territoire boisé est beaucoup plus importante. Les fermes sont moins densifiées et de moindre envergure.

Puisque la pollution diffuse d'origine agricole provient des sous-bassins situés dans la portion inférieure du bassin versant du réservoir Beaudet, il est proposé de procéder à la construction de marais épurateurs à des endroits stratégiques afin de diminuer considérablement cette pollution par un minimum d'interventions. Ainsi, il est proposé de traiter les cours d'eau des sous-bassins 2, 5 et 28 c'est-à-dire les ruisseaux Parent, Plante et la rivière L'abbé. Ces sous-bassins représentent 67 % du territoire à forte activité agricole du bassin versant de la rivière Bulstrode en amont du réservoir Beaudet. Le traitement de ces cours d'eau assurerait donc une diminution importante de la pollution diffuse d'origine agricole qui atteint le réservoir Beaudet et qui provoque la prolifération de plantes aquatiques indésirables ainsi qu'un apport de matières en suspension.

Ruisseau Parent: Situé tout près de Princeville, ce secteur subit de fortes pressions par les activités agricoles. Ce sous-bassin a une superficie de 6,2 km². Un marais épurateur d'une superficie totale de 0,9 ha suffirait à traiter les eaux de ce ruisseau. Toutefois, cette superficie peut être divisée en 3 ou 4 petites unités de traitement par marais épurateurs. Le coût approximatif de ces aménagements serait de 100 000 \$.

Ruisseau Plante: Les cours d'eau de ce sous-bassin ayant tous été artificialisés (redressement), il ne subsiste probablement aucun milieu humide ou bande riveraine naturelle qui pourrait offrir un certain traitement naturel des eaux. Il est par conséquent primordial d'intervenir dans ce sous-bassin afin de remédier au problème. L'engazonnement des canaux de drainage de ce sous-bassin permettrait d'éliminer une grande partie des sédiments qui sont acheminés à la rivière Bulstrode via les processus d'érosion. Pour une superficie de 13,4 km², la construction de 4 ou 5 petits marais totalisant 2 ha permettrait de traiter les contaminants tels que l'azote, le phosphore et les pesticides qui sont transportés via ces canaux de drainage. Il faut compter environ 250 000 \$ pour la création de ces unités de traitement. Les marais permettraient également une importante diminution des matières en suspension donc une diminution de la sédimentation dans les secteurs situés en aval.

Rivière L'abbé: Il s'agit du plus grand sous-bassin après celui du ruisseau Gobeil avec 41,7 km². Un marais épurateur de 6,5 ha permettrait de contrôler les contaminants qui normalement atteignent le réservoir Beaudet. Deux sites ont été retenus pour la construction. La sablière actuellement contournée par le ruisseau L'abbé serait un excellent choix. Également, le marais naturel en bordure du réservoir pourrait faire l'objet d'un agrandissement et d'une optimisation par la plantation de plantes épuratrices. Les coûts de construction pour les deux marais s'élèvent à environ 500 000 \$.

Ces estimations sont peu précises étant donné le manque de données disponibles. Elle sont basées sur les données de débits actuellement disponibles soit celles de la station 013106 située en aval du barrage. Bien qu'une estimation de la consommation d'eau ait été retenue, il demeure néanmoins très difficile d'évaluer le débit des sous-bassins situés en amont de cette station.

Les coûts des unités de traitement sont présentés au tableau 6.1. Une estimation plus juste des coûts de construction des marais épurateurs pourra être effectuée lorsque des données plus récentes et surtout plus complètes seront disponibles. Notons que pour procéder à l'évaluation des marais artificiels il est important de connaître, pour chaque sous-bassin, les paramètres suivants: débit, concentration des contaminants pendant la période estivale (azote, phosphore et M.E.S.). La nature du dépôt, la texture du sol et la topographie du terrain permettent quand à elles de vérifier la possibilité de construction des unités de traitement.

Notons également qu'il est possible de procéder par étapes en priorisant la construction à court terme de quelques unités de traitement et de poursuivre la construction lorsque les premières données de rendement des unités de traitement seront disponibles.

Dans le même ordre d'idée, il serait possible d'installer une digue de confinement des eaux de ruissellement dans le bras est du réservoir de manière à créer un bassin tampon permettant la décantation. Cette digue pourrait représenter une étape intermédiaire vers la création d'un marais artificiel si son efficacité n'est pas jugée suffisante. La digue aurait d'une longueur de 50 m sur 2 m de hauteur. Elle ne pourra assurer la rétention des eaux puisque les matériaux meubles dans ce secteur sont plutôt sableux. Toutefois, elle permettra de retenir les eaux pour favoriser la décantation des matières décantables. Un déversoir en crête serait installé de manière à protéger la digue lors des pluies trop intenses. Les plantes aquatiques et les algues phytoplanctoniques déjà présentes dans le secteur assureraient une certaine forme de traitement.

L'exutoire de la rivière L'abbé serait détourné vers le bassin de rétention ainsi formé, grâce à un canal rectiligne de 400 m de longueur sur 1,5 m de profondeur. Celui-ci sera ensemencé hydrauliquement pour permettre la stabilisation des berges. Des relevés de débits à la rivière L'abbé et dans une portion du drainage de la ville de Victoriaville seront nécessaires afin de dimensionner les aménagements. L'évaluation approximative des coûts associés à la construction de la digue et du canal de dérivation est de 100 000 \$.

TABLEAU 6.1
Coûts approximatifs pour la construction des marais épurateurs proposés

Site	Coût	Superficie	Nombre d'unités de traitement
Rivière L'Abbé	500 000	6,5 ha	2
Ruisseau Plante	250 000	2 ha	4 à 5
Ruisseau Parent	100 000	0,9 ha	3 à 4

Le coût des travaux de construction des marais épurateurs pourrait éventuellement être admissible au programme "Travaux d'infrastructures, Canada-Québec", Volet 3, Expérimentation de nouvelles technologies, qui n'entre pas en compétition avec les autres volets du programme.

D'autres organismes pourraient peut-être fournir leur appui financier mais de façon moins importante. Il s'agit de la Fondation de la faune du Québec (FFQ), de Canards Illimités Canada, d'Habitat faunique Canada et du ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec.

6.1.2 Traitement des eaux de ruissellement du parc industriel

Une grande partie des eaux de ruissellement du parc industriel de Victoriaville se drainent directement dans le réservoir Beaudet (cartes 3 et 4 en pochette) et y apportent plusieurs contaminants, notamment les éléments nutritifs qui alimentent la croissance des algues et des plantes aquatiques. Cette source d'eau polluée est en conflit direct avec l'approvisionnement en eau potable de la ville de Victoriaville. À l'été (août), on peut voir des accumulations visibles d'algues aux points d'entrée dans le réservoir Beaudet des eaux pluviales du parc industriel (voir figure 1 et carte 4 en pochette).

Les eaux du parc industriel peuvent être d'une part, réorientées vers le réseau d'égout sanitaire ou d'autre part, traitées avant leur rejet dans le réservoir. Toutefois, le captage des eaux du parc industriel et leur réorientation vers le réseau d'égout sanitaire représenteraient des coûts trop importants. De plus, il n'est pas certain que le réseau actuel puisse accommoder ces nouveaux apports qui engendreraient des frais additionnels d'entretien du réseau.

L'autre alternative est de traiter les eaux de drainage avant leur entrée dans le réservoir. Une bonne partie des éléments nutritifs et contaminants des eaux circulant dans les canaux d'écoulement pluvial peut être éliminée à partir de méthodes simples tout juste avant leur entrée dans le réservoir. Ces interventions doivent être localisées juste en amont du réservoir.

Parmi les interventions pouvant être réalisées, se trouvent:

- les trappes à sédiments;
- les bassins de sédimentation;
- les petits étangs ou marécages;
- la végétalisation des canaux avec des herbages;
- les systèmes de filtration des eaux de ruissellement.

Une des avenues les plus intéressantes et les plus efficaces de traiter les eaux de ruissellement du parc industriel est l'utilisation de marais épurateurs, tel que décrit à la section 6.1.1. Encore une fois, l'intérêt de ce type de traitement est la possibilité de traiter un certain volume d'eau avant qu'il atteigne le réservoir. Également, ce système a un fonctionnement dit passif. Il requiert un minimum d'entretien et est donc peu dispendieux à entretenir et à opérer.

Actuellement, le réseau pluvial rejette les eaux de ruissellement dans le réservoir Beaudet en 10 points différents (carte 3, en pochette). Pour minimiser le nombre d'unités de traitement, il est recommandé de procéder au raccordement des réseaux n° 1 et 2 au réseau n° 3. En réalisant ce raccordement, les eaux de ruissellement seraient rejetées dans l'émissaire actuel (no 3), pour se retrouver éventuellement dans le ruisseau L'abbé, rejoignant ainsi les eaux de ruissellement agricole provenant du sous-bassin no 28. De cette façon, le marais proposé pour le traitement de la pollution agricole de ce sous-bassin pourrait également servir pour le traitement des eaux de ruissellement de ce secteur. La proportion du volume des eaux pluviales participant au débit total du sous-bassin versant no 28 est donc intégrée au débit de conception du marais proposé. Toutefois, des mesures du débit in situ devront être effectuées afin de faire une juste évaluation des superficies requises.

Un second marais épurateur pourrait être créé à la sortie du réseau no 4 dans le marais actuel. En fait, ce marais serait refaçonné afin de lui donner les caractéristiques d'un marais épurateur tel que recommandé par Hammer (1992). Puisqu'aucune mesure de débit de cette portion du réseau d'égout n'est disponible, il est impossible pour l'instant de déterminer le coût de construction de cette unité.

Ces deux marais épurateurs permettraient de traiter l'ensemble des eaux de ruissellement du parc industriel, ce qui représente plus de 75% des eaux pluviales qui se jettent dans le réservoir Beaudet. Il s'agit donc d'un contrôle important des sources de pollution avant même qu'elles n'atteignent le réservoir. Il faut noter qu'une partie du réseau recueillant les eaux de ruissellement de la ville de Victoriaville se déverse dans la rivière Nicolet.

6.1.3 Précipitation et inactivation du phosphore

La précipitation du phosphore permet son élimination de la colonne d'eau en le faisant précipiter au fond. Pour sa part, l'inactivation du phosphore permet le contrôle à long terme de la remise en solution du phosphore des sédiments vers la colonne d'eau en ajoutant du sulfate d'aluminium au réservoir. L'ajout d'une quantité suffisante de sulfate d'aluminium (alun) permet de former un agrégat d'hydroxyde d'aluminium de couleur brune qui précipite vers le fond en entraînant avec lui les particules de phosphore inorganique ainsi que des matières organiques et inorganiques. Si une quantité suffisante d'alun est ajoutée, une couche de 2 à 5 cm d'hydroxyde d'aluminium s'accumulera au fond du réservoir, ce qui retardera la remise en solution du phosphore dans l'eau.

Cette technique est efficace surtout dans des grands lacs profonds et stratifiés, ce qui n'est pas le cas du réservoir Beaudet qui est relativement petit, peu profond et non stratifié. De plus, elle requiert l'ajout d'une grande quantité d'alun qui produit le dépôt d'une couche brune d'hydroxyde d'aluminium sur le fond. L'ajout de produit chimique au réservoir et la formation de cette couche brune pourraient avoir un impact négatif sur la faune aquatique et seraient probablement peu appréciés de la population (bien que l'alun ne présente pas un danger pour la qualité de l'eau potable). Pour ces raisons, l'utilisation de cette technique n'est pas recommandée au réservoir Beaudet.

Il serait possible d'adapter cette technique en pompant l'eau du réservoir à l'intérieur d'un bassin situé sur la terre ferme à proximité de l'usine de filtration, et d'ajouter de l'alun au bassin dans le but d'y faire précipiter le phosphore avant de retourner l'eau au réservoir. Cette technique

n'occasionnerait pas d'impact négatif majeur sur la faune aquatique bien qu'elle ne contrôle en rien la remise en solution du phosphore des sédiments vers la colonne d'eau. Elle permettrait de réduire substantiellement les concentrations de phosphore présentes dans l'eau du réservoir au cours de la saison estivale, saison pendant laquelle la croissance des algues et plantes aquatiques pose un problème. Toutefois, cette option entraîne des coûts liés à la construction d'infrastructures importantes (bassins, stations de pompage) ainsi que des coûts d'opération élevés (achat d'alun, opérateur, électricité, disposition du précipité, etc.) et récurrents puisqu'elle ne résout en rien les causes du problème.

6.1.4 Dragage des sédiments

Cette technique vise l'enlèvement de la couche de sédiments la plus riche en matière organique et en éléments nutritifs qui stimule la croissance d'algues et de plantes aquatiques. Les éléments nutritifs ont tendance à s'associer aux particules en suspension dans l'eau de sorte que les sédiments du réservoir Beaudet, provenant en majeure partie d'un bassin versant fortement agricole, fournissent une source importante et renouvelable d'éléments nutritifs pour la croissance d'algues et de plantes aquatiques. En effet, lorsque certaines conditions sont réunies, les sédiments peuvent relarguer en continu les éléments nutritifs liés aux sédiments vers la colonne d'eau et ainsi compromettre les efforts de restauration d'un plan d'eau. De plus, la végétation présente avant la mise en eau du réservoir (1977) n'a pas été enlevée (décapage) et représente une autre source potentielle d'éléments nutritifs disponibles pour la croissance des algues et plantes aquatiques.

L'efficacité à long terme du dragage comme mode de contrôle des algues et plantes aquatiques est considérée comme étant très bonne (Olem et Flock, 1990). De plus, le dragage permet d'augmenter le volume du réservoir et d'améliorer son utilisation à des fins récréatives (problèmes d'échouage). Le dragage permet d'une part de contrôler le relarguage des éléments nutritifs et d'autre part, d'augmenter les profondeurs, ce qui permet de limiter les zones propices à l'établissement de plantes aquatiques émergentes (0 à 0,75 m), flottantes (0,5 à 3,0 m) et

submergées (0 à 5 m). Les impacts négatifs occasionnés par le dragage sont en général de courte durée. Une augmentation temporaire de la quantité de matières en suspension dans l'eau est à prévoir ainsi qu'une réduction temporaire de l'abondance d'organismes benthiques. Pour ne pas compromettre la qualité de l'eau du réservoir, le dragage devrait être fait à l'aide d'une drague hydraulique qui permet de limiter la remise en suspension des sédiments dans la colonne d'eau (voir annexe 4).

Les coûts associés au dragage sont relativement élevés et varient entre 0,70 et 42,75 \$/m³ (Olem et Flock, 1990). C'est pourquoi il est important de bien déterminer la quantité de matériel à draguer ainsi que le mode de disposition des résidus de dragage qui présente le meilleur rapport coût-bénéfice et le moins de répercussions environnementales. Dans ce but, des relevés bathymétriques précis ainsi qu'une caractérisation physique et chimique des sédiments ont été réalisés par le Groupe Roche à l'hiver de 1994-95 afin d'évaluer le potentiel de relarguage d'éléments nutritifs des sédiments du réservoir ainsi que la quantité de matériel à draguer. En superposant les relevés bathymétriques effectués en 1994 aux relevés topographiques effectués avant la mise en eau du réservoir (1974), il est possible d'identifier certaines zones où les profondeurs sont inférieures à celles observées en 1974 (carte 5 en pochette). Ces zones pourraient être le résultat du dépôt de sédiments dans des secteurs du réservoir où les courants induits par les vents ou la rivière Bulstrode sont faibles. Plus précisément, ces zones sont situées près des rives à l'extrémité est du réservoir, à l'intérieur du bras de méandre formé par l'ancien lit de la rivière, et également dans la portion sud-est du réservoir à l'embouchure du bras marécageux qui reçoit les eaux de ruissellement d'une partie du parc industriel et de la ville de Victoriaville. De plus, les eaux de ruissellement contribuent certainement à l'ensablement du secteur. Toutefois, en comparant la granulométrie des sédiments de ces zones à celle des zones qui sont plus profondes aujourd'hui qu'en 1974, il n'est pas possible d'établir hors de tout doute que les zones qui sont moins profondes correspondent à des zones de sédimentation.

La caractérisation physico-chimique des sédiments prélevés au fond du réservoir a permis de déterminer que ces sédiments possèdent (actuellement) peu de potentiel à relarguer des éléments nutritifs vers la colonne d'eau, mais plutôt à les accumuler. Cette situation favorise les plantes aquatiques au détriment des algues phytoplanctoniques. En effet, les plantes aquatiques peuvent, dans certains cas, puiser leurs nutriments directement dans les sédiments, ce que ne peuvent faire les algues phytoplanctoniques.

Afin de mieux définir les superficies et les volumes à draguer, nous présentons ci-après le tableau 6.2 et la figure 6.1. Le tableau 6.2 présente les coûts associés au dragage des sédiments du réservoir et permettant d'obtenir une profondeur minimale de 1,5 ou 2,0 m dans le secteur immédiat du réservoir et l'embouchure de la rivière Bulstrode. Une profondeur de 1,5 m permettrait de contrôler les plantes aquatiques émergentes et d'assurer un contrôle partiel des plantes aquatiques flottantes et submergées. En comparant les cartes 4 et 5 (en pochette), on peut voir que les zones de profondeurs inférieures à 1,5 m correspondent essentiellement aux zones d'accumulations de plantes aquatiques (figure 1).

Une profondeur de 2,0 m permettrait d'assurer un meilleur contrôle sur les plantes aquatiques flottantes et submergées ainsi que d'assurer le contrôle sur une plus grande superficie du réservoir (figure 6.1). Toutefois, les coûts associés au dragage des sédiments jusqu'à une profondeur de 2,0 m sont trois à quatre fois plus élevés que ceux associés au dragage jusqu'à une profondeur de 1,5 m. De plus, la quantité de matériel à disposer est également trois à quatre fois plus importante et l'espace disponible est limité puisque le réservoir se situe en milieu urbain. Il n'existe pas, dans le secteur immédiat du réservoir, de site de dépôt terrestre qui soit capable d'accepter les 200 000 à 241 000 m³ de sédiments qui proviendraient d'un dragage jusqu'à 2,0 m. Dans le cadre de cette alternative, on devrait envisager de disposer tout le matériel dragué à l'intérieur même du réservoir, le long de la rive nord car c'est le secteur le plus propice pour effectuer un remblayage de cette envergure.

TABLEAU 6.2

Évaluation des volumes de sédiments à draguer selon différentes alternatives et coûts associés aux opérations de dragage

	Superficie(m ²)	Volume (m ³)	Coûts*
Alternative 1			
Dragage des sédiments afin d'obtenir une profondeur minimale de 1,5 m dans le secteur immédiat du réservoir (Zone A, Annexe 6)	202 000	56 200	\$562 000
Alternative 2			
Dragage des sédiments afin d'obtenir une profondeur minimale de 1,5 m dans le secteur immédiat du réservoir et à l'embouchure de la rivière Bulstrode (Zones A et B, Annexe 6)	240 000	79 000	\$790 000
Alternative 3			
Dragage des sédiments afin d'obtenir une profondeur minimale de 2,0 m dans le secteur immédiat du réservoir (Zones A, Annexe 6)	368 100	211 900	\$2,12 millions
Alternative 4			
Dragage des sédiments afin d'obtenir une profondeur minimale de 2,0 m dans le secteur immédiat du réservoir et à l'embouchure de la rivière Bulstrode (Zones A et B, Annexe 6)	412 500	240 800	\$2,4 millions

*Coûts évalués pour les opérations de dragage à l'aide d'une drague hydraulique sur une base de \$10.00/m³
Ces coûts ne comprennent pas les coûts de confinement des matériaux dragués, ni les études d'ingénierie, nécessaires avant la réalisation des travaux.

ÉTUDE DES PROBLÈMES LIÉS AUX ALGUES
ET AUX MACROPHYTES DANS LE RÉSERVOIR BEAUDET

Détermination des superficies à draguer
selon différentes profondeurs

Zone de profondeurs comprises entre:

- 0m et 0,5m
- 0,5m et 1,0m
- 1,0m et 1,5m
- 1,5m et 2,0m

Note: Profondeurs exprimées par rapport à la cote 128,78m
Le niveau d'eau "zéro" pour le réservoir est à la cote 128,78m

Source: Relevés bathymétrique effectués par Normand Juneau inc. Plan no: 94-056-4, décembre 1994

N° de projet : 17045

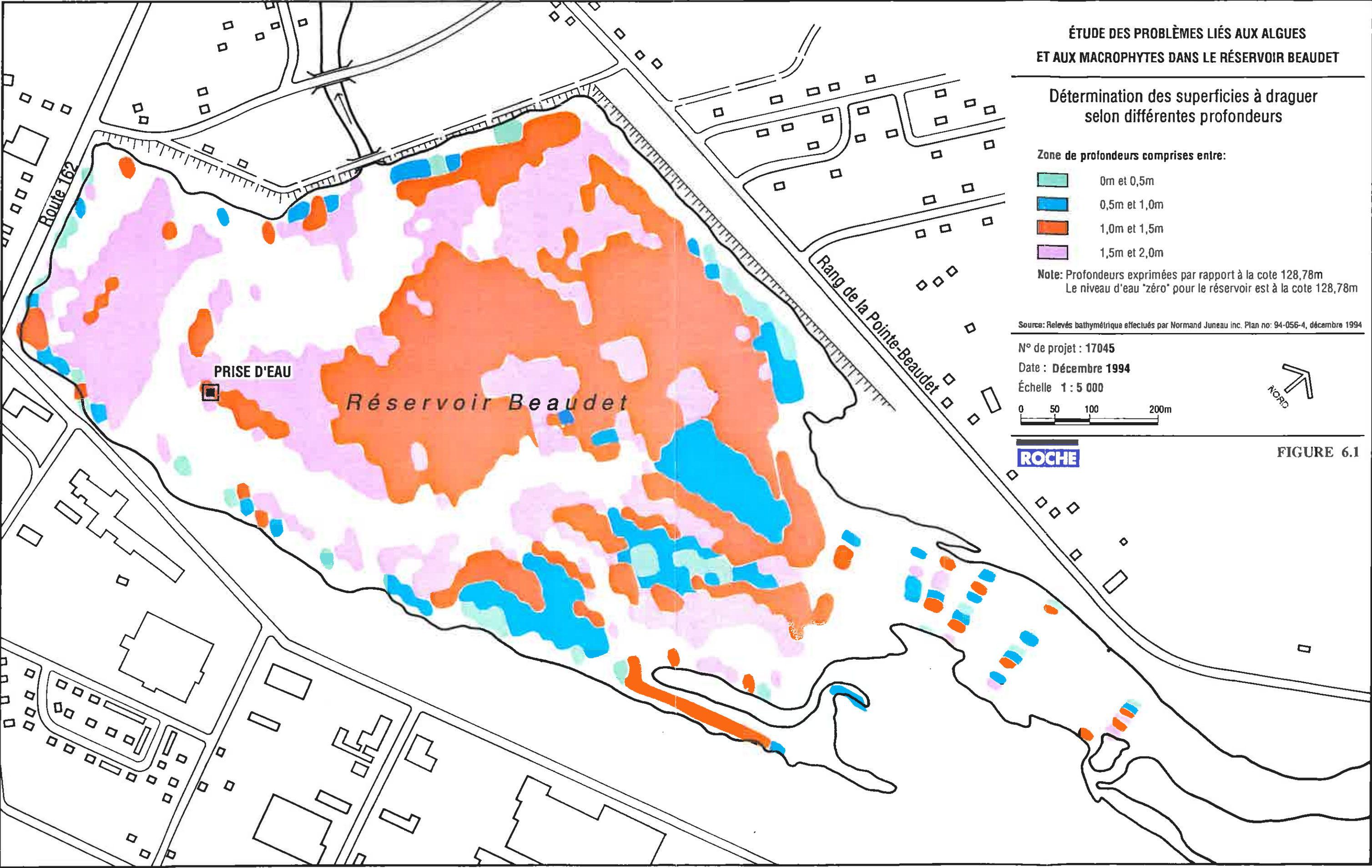
Date : Décembre 1994

Échelle 1 : 5 000

0 50 100 200m

ROCHE

FIGURE 6.1



Advenant que l'option retenue est de draguer jusqu'à 1,5 m, il serait possible de disposer des matériaux de dragage à l'intérieur même du réservoir sans toucher au secteur nord du réservoir. Deux autres sites pourraient être utilisés. D'une part, le petit bras situé dans la partie est du réservoir pourrait recevoir une partie des matériaux dragués et les utiliser pour la création du marais épurateur proposé dans ce secteur. Suite à une évaluation préliminaire faite à partir des relevés topographiques disponibles, il semble que ce site pourrait accepter 5400 m³ de matériaux dragués. L'autre site potentiel serait la portion ouest (forme carrée) du réservoir qui pourrait être utilisée afin de confiner les matériaux dragués à l'aide d'une digue. En utilisant ces deux sites, il serait possible de disposer des 56 000 à 79 000 m³ de sédiments dragués selon qu'on décide de draguer seulement le secteur immédiat du réservoir (voir section A en annexe 6) ou le réservoir et l'embouchure de la rivière Bulstrode (section B en annexe 6).

De façon préliminaire, on peut évaluer que les coûts des opérations de dragage peuvent varier de 562 000 \$ à 2,12 M\$ si on drague le réservoir (zone A) à 1,5 m ou 2 m. Si on procède au dragage du réservoir et de l'embouchure de la rivière Bulstrode (zones A et B) à 1,5 m ou 2 m, les coûts varient respectivement de 790 000 \$ à 2,4 M\$. Ces coûts ne comprennent pas les coûts d'ingénierie, de confinement et de suivi des matériaux de dragage. On peut évaluer que les coûts d'ingénierie, de confinement et de suivi des matériaux dragués s'élèvent à environ 20% du coût des travaux de dragage.

6.2 Contrôle à long terme

6.2.1 Pollution agricole

Modification des pratiques agricoles: L'agriculture est une activité souvent pointée du doigt lorsqu'il s'agit de pollution de l'eau. Elle est effectivement en partie responsable de la détérioration de la qualité de l'eau de plusieurs rivières du Québec.

Bien qu'une proportion importante du bassin inférieur du réservoir Beaudet soit occupée par des terres agricoles, aucune mesure concrète visant à contrôler les sources de pollution agricole n'a été mise en vigueur à l'intérieur de celui-ci (MRC de l'Érable et Arthabaska). Avant la construction du barrage, en 1973, les superficies en cultures dans le bassin versant étaient évaluées à 207 km². Selon les informations fournies par le Bureau de renseignements agricoles de Victoriaville en 1995, 87% des terres agricoles seraient occupées par des cultures fourragères et 13% par des cultures céréalières. D'autre part, 90% des agriculteurs utiliseraient des engrais chimiques et l'épandage du fumier se ferait principalement le printemps. Seulement 40% des fermes seraient équipées de structures d'entreposage du fumier et du purin.

Plusieurs solutions pouvant corriger ce problème sont possibles. Toutefois, leur application est plus problématique. En effet, la meilleure façon de diminuer la pollution d'origine agricole est de modifier les pratiques à la ferme. La somme de nombreuses interventions réalisées sur toutes les fermes comprises dans le bassin versant contribuera à améliorer significativement la qualité de l'eau de la rivière. La difficulté réside dans l'application de ces solutions sur l'ensemble des fermes. Bien entendu, ce projet est réalisable à moyen ou à long terme selon l'intensité du programme de gestion entrepris. L'unité de base d'un programme de gestion ayant pour objectif l'amélioration de la qualité de l'eau d'un cours d'eau est le bassin versant.

À titre d'exemple, mentionnons qu'il existe actuellement deux programmes de gestion de l'eau par bassin versant au Québec: le bassin versant du ruisseau St-Esprit (un tributaire de la rivière l'Assomption) et le ruisseau Turmel (un tributaire de la rivière Chaudière). Ces programmes visent à protéger les rives et à amener les producteurs agricoles à adopter de nouvelles pratiques à la ferme afin de diminuer la pollution de ses cours d'eau. L'expérience acquise lors de ces projets pourrait être mise à contribution dans tout futur projet québécois de gestion de l'eau par bassin versant.

Protection de la bande riveraine: Il faut signaler que le gouvernement du Québec a adopté un décret sur la nouvelle politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables le 22 décembre 1987. Selon ce décret, l'application de cette politique relève des municipalités. Depuis l'adoption du décret, les MRC sont également tenues d'intégrer la nouvelle politique de protection des rives à leur schéma d'aménagement. En général, cette politique vise simplement à faire respecter la conservation d'une bande riveraine minimale en milieu agricole et forestier. Dans le bassin versant de la rivière Bulstrode, tous les fossés de drainage que l'on retrouve sur les terres agricoles devraient faire l'objet d'un programme de restauration de la bande riveraine. Cette solution permettrait certainement d'améliorer la qualité de l'eau de la rivière Bulstrode et de ses tributaires.

En plus des modifications des pratiques agricoles et de l'application de la politique de protection des rives, d'autres solutions permettraient d'améliorer la qualité de l'eau provenant des terres agricoles, ces solutions étant:

Programme de stabilisation des berges: Dans les secteurs en érosion, il faudrait procéder à l'application de techniques correctives afin de minimiser le volume de sédiments qui colmate le lit de la rivière Bulstrode et le fond du réservoir Beaudet. Le secteur en érosion au sud-est de Princeville devrait être considéré prioritaire dans l'application d'une technique de stabilisation efficace.

Infrastructures agricoles: En plus du programme actuel du MAPAQ sur la création de fosses pour les fumiers et lisiers, il faudrait proposer un programme incitant l'installation de clôtures et de pompes à eau afin de limiter l'accès du bétail aux cours d'eau.

6.2.2 Pollution domestique

Dans un premier temps, il serait possible de mettre sur pied un programme de détection des installations septiques défectueuses tel que celui réalisé pour un groupe de résidents de la région des Milles Îles du fleuve Saint-Laurent. Ce type de programme propose aux propriétaires des solutions à leur problème d'installations septiques sans obligation de leur part et il s'est avéré très efficace.

Tout le programme d'assainissement des eaux du Québec (PAEQ) est actuellement en redéfinition. Officiellement, tous les projets concernant des municipalités de moins de 4000 personnes sont interrompus jusqu'à ce que le MEF régional établisse des priorités d'intervention. Dans ce cas, environ 20% des projets pourront vraisemblablement être finalisés, mais selon un échéancier échelonné sur une période nettement plus longue que celle prévue par le PAEQ.

Officieusement, il est de plus en plus question que le MEF mette de l'avant le Programme d'assainissement des eaux usées municipales (PADEM) pour finaliser les projets d'assainissement des municipalités qui ne sont pas encore desservies par une station d'épuration des eaux usées. Toutes les municipalités devraient finir par être munies d'un système de traitement bien que l'échéancier de réalisation soit plus long que celui prévu par le PAEQ. De plus, les municipalités dont le coût du programme serait supérieur à 175 \$/pers., seront vraisemblablement exclues de ce programme.

Pour réaliser des travaux dans le cadre du PADEM, il faut (dès maintenant) que les municipalités concernées s'inscrivent au programme.

Pour Chester, Chester Nord et St-Fortunat, un traitement par fosse septique communautaire peut être envisageable. Pour les autres municipalités de tailles supérieures, ce type de traitement peut également être envisageable bien qu'il faille alors utiliser plusieurs fosses septiques. Selon la nature du sol, il serait peut-être possible d'envisager un champ de filtration pour traiter le surnageant. Si les conditions sont défavorables, il faudrait alors penser à l'utilisation de marais épurateurs. Le cas échéant, d'autres types de traitement sont possibles (biodisques, étangs non-aérés, etc.).

7.0 CONTRÔLE DES PLANTES AQUATIQUES

7.1 Contrôle physique

7.1.1 Récolte mécanique des plantes aquatiques

Cette technique est très répandue tant au États-Unis que dans d'autres pays où l'utilisation de plans d'eau est fortement limitée par la prolifération excessive de plantes aquatiques. Cette technique est particulièrement recommandée dans nos régions car la saison de croissance des plantes aquatiques est courte (Cooke et al., 1986 dans National Research Council, 1992). En effet, une récolte effectuée à raison d'une fois l'an est généralement suffisante pour limiter le repeuplement des plantes l'année suivante. Ceci est particulièrement vrai lorsque la récolte est faite tard dans la saison de croissance (Kimbel et Carpenter, 1981 dans National Research Council, 1992).

Cette technique a l'avantage de donner des résultats positifs à court terme, sans utiliser de produits chimiques qui peuvent avoir des effets nocifs sur les organismes aquatiques et sur la qualité de l'eau. De plus, elle permet de récupérer rapidement l'utilisation du lac à des fins récréatives et la récolte peut être faite simultanément à la pratique d'activités nautiques telle la planche à voile. Les désavantages reliés à cette technique sont les coûts récurrents puisque la repousse des plantes aquatiques est possible, une susceptibilité accrue aux blooms d'algues et une augmentation à court terme de la turbidité et de la concentration d'éléments nutritifs dans l'eau (Cooke et al., 1986 dans National Research Council, 1992). De plus, la récolte de plantes aquatiques peut avoir un impact négatif sur l'habitat des jeunes poissons.

La récolte de plantes aquatiques se fait à l'aide de barges flottantes motorisées équipées d'un appareillage servant à couper et convoyer les plantes aquatiques vers des conteneurs. Ces derniers sont situés sur la barge et sont vidangés sur la terre ferme lorsque pleins. Ces conteneurs ont généralement une capacité variant entre 3 et 23 m³ (National Research Council,

1992). Ces barges sont disponibles principalement aux États-Unis. Elles sont offertes en plusieurs formats et à différents prix et elles offrent diverses options ou type d'appareillage. Étant donné la petite taille du réservoir Beaudet, une barge de petite taille avec une capacité de 680 kg et une largeur de coupe de 1,2 m, telle que celle décrite à l'annexe 5, représenterait un bon rapport coûts-bénéfices.

La petite taille de cette barge permet une plus grande manoeuvrabilité et permet d'accéder à des zones peu profondes. Le coût d'achat de ce type de barge est de 60 000 \$ et comprend:

- la barge motorisée avec équipement de récolte et convoyeur;
- les frais de transport;
- une remorque pour la transporter;
- un convoyeur terrestre afin de recevoir les plantes aquatiques récoltées et les transférer dans un camion ou un conteneur;
- une batterie d'alimentation mobile pour le convoyeur terrestre;
- un cours de formation pour l'opérateur.

En considérant que la barge n'est utilisée qu'en saison estivale à raison de 240 heures par été et qu'un opérateur est engagé sur une base de trois mois par année, ses coûts d'opération (entretien et réparations) seraient de 10 000 \$/année. La barge pourrait également être louée à d'autres municipalités afin d'amortir plus rapidement les coûts d'achat et d'optimiser son utilisation.

Il est important de mentionner que cette technique ne s'applique pas à la récolte d'algues.

L'emploi de cette technique nécessite la connaissance des espèces végétales et de leurs densités respectives. Il faudrait, par conséquent, réaliser un inventaire de la végétation à l'été 1995 afin de sélectionner le meilleur type de barge possible pour les besoins du réservoir. Nous recommandons cette technique pour son faible coût et son efficacité à court terme.

7.1.2 Baisse temporaire du niveau du réservoir

Une façon de limiter la croissance des plantes aquatiques consiste à baisser le niveau du réservoir pendant trois à quatre semaines au cours de l'hiver. De cette manière, le système racinaire des plantes aquatiques est exposé à des températures se situant sous le point de congélation pouvant occasionner la mort du système racinaire et des structures reproductrices de certaines plantes aquatiques dont: le myriophylle et la naïade du Sud (National Research Council, 1992). D'autres plantes aquatiques telles que la jacinthe d'eau, l'élodée et la naïas souple (*Najas flexilis*) ne sont pas affectées par cette technique de contrôle. Dans le cas du réservoir Beaudet, on pense que certaines espèces pourraient être affectées par une baisse de niveau du réservoir tandis que d'autres ne le seraient pas. Par conséquent, cette technique aurait un impact limité à certaines espèces de plantes aquatiques. De plus, une baisse du niveau du réservoir pendant une période de trois à quatre semaines réduirait la disponibilité en eau du réservoir au cours d'une période où les apports sont plutôt faibles. Comme la présence de plantes aquatiques semble généralisée à l'ensemble du réservoir, il est probable qu'il faudrait une baisse du niveau significative afin d'avoir des résultats tangibles.

Si la municipalité peut supporter une baisse de son volume de stockage pendant l'hiver, cette méthode de contrôle permettrait de réduire à peu de frais l'abondance de certaines plantes aquatiques l'été suivant. Toutefois, compte tenu des inconvénients associés à cette technique, nous ne la recommandons pas pour le réservoir Beaudet.

7.1.3 Diversion ou refroidissement des eaux de refroidissement de la compagnie Lactantia

Les eaux de refroidissement de la compagnie Lactancia qui atteignent des températures se rapprochant de 30° C et qui sont rejetées directement dans le réservoir Beaudet contribuent certainement à augmenter la température de l'eau du réservoir et ainsi à favoriser la croissance des plantes aquatiques. En général les eaux peu profondes, riches en éléments nutritifs, bien éclairées et chaudes favorisent l'établissement et la croissance des plantes aquatiques (Olem et

Flock, 1990). Les eaux du réservoir Beaudet possèdent l'ensemble de ces conditions et l'apport d'eaux chaudes provenant de la compagnie Lactantia vient certainement amplifier le problème en accélérant la croissance des plantes aquatiques et des algues phytoplanctoniques.

La compagnie Lactantia pompe quotidiennement (à un rythme de 3,78 m³/min) 5 400 m³ d'eau du réservoir qu'elle y retourne ensuite après avoir refroidi ses systèmes. En général, les eaux ne servent au refroidissement des systèmes que pour une période de 12 à 16 heures par jour et sont retournées au réservoir à des températures de 27° à 28°C. Au cours des autres périodes de la journée, l'eau est tout simplement pompée et retournée au réservoir sans réchauffement. Pendant les 12 à 16 heures où les eaux du réservoir sont utilisées à des fins de refroidissement, on en utilise environ 2 700 à 3 600 m³.

La Direction du milieu aquatique du ministère de l'Environnement et de la Faune (MENVIQ, 1990) stipule que les rejets thermiques ne devraient pas dépasser la température moyenne hebdomadaire maximale ni les températures maximales du milieu récepteur à court terme. Pour ce faire, il faudrait que les eaux de refroidissement soient retournées au réservoir à une température ne dépassant pas 25°C.

Deux alternatives sont proposées:

- 1) Diversion des eaux de refroidissement en aval du barrage via l'émissaire des eaux de lavage de l'usine de filtration de la ville, lorsque leurs températures dépassent 25°C;
- 2) Refroidissement des eaux de rejet de la compagnie Lactantia à une température de 25°C avant leur disposition dans le réservoir.

La diversion des eaux de refroidissement en période d'étiage pourrait avoir un effet sur le bilan hydrique du réservoir en augmentant légèrement son temps de renouvellement.

La perte de 3 600 m³ par jour (16 heures d'opération) due à la diversion de la totalité des eaux utilisées à des fins de refroidissement représenterait environ 1,3% du bilan hydrique du réservoir, ce qui est acceptable du point de vue environnemental.

L'évaluation approximative des travaux de diversion est d'environ 20 000 \$. Ces coûts devraient être assurés par la compagnie Lactantia, puisqu'elle est l'utilisateur des eaux du réservoir.

D'autre part, il est également possible de refroidir les eaux à l'intérieur de l'usine à l'aide de refroidisseurs additionnels, ou à l'aide d'une tour de refroidissement extérieure ou d'un système plus simple favorisant les échanges d'air. Une tour de refroidissement NC-4101, avec un moteur de 10 Hp, permettrait vraisemblablement de ramener les eaux de refroidissement à une température de 25°C avant leur rejet dans le milieu récepteur. Le coût d'une telle tour serait d'environ 40 000 \$.

Compte tenu des coûts d'achat et d'opération d'une tour de refroidissement, nous recommandons la diversion des eaux de refroidissement vers l'émissaire des eaux de lavage de l'usine de filtration de la ville.

7.2 Contrôle biologique

Introduction de poissons herbivores

Une méthode de contrôle biologique des plantes aquatiques est l'introduction ou l'ensemencement d'espèces de poissons qui se nourrissent de ces plantes. Toutefois cette technique est généralement moins efficace dans les régions froides. L'introduction d'une espèce de carpe (*Ctenopharyngodon idella* Val.) dans plusieurs lacs américains a été faite dans le but de contrôler la prolifération excessive des plantes aquatiques. En général, cette méthode s'est avérée efficace pour contrôler certaines espèces de plantes aquatiques, mais elle présente quelques risques. En effet, l'introduction d'espèces non-indigènes peut entraîner le déplacement

de certaines espèces d'intérêt sportif ainsi qu'une compétition pour les ressources alimentaires avec ces mêmes espèces. C'est la raison pour laquelle l'introduction d'espèces non-indigènes est interdite au Québec (Règlement sur l'aquaculture et le zonage piscicole, L.R.Q., c.C-61.1, r.0.01) et fortement légiférée aux États-Unis. L'introduction accidentelle, par les pêcheurs sportifs, de certaines espèces de cyprinidés (ex: mulot à cornes) et de catostomidés (meunier noir) dans des plans d'eau du Québec où elles n'étaient pas présentes, a occasionné une diminution de la biomasse de poissons d'intérêt sportif (Omble de fontaine) due à une compétition pour les ressources alimentaires (Magnan, 1989). De plus, certaines de ces espèces se sont propagées à l'ensemble du bassin versant, y causant des torts irréversibles.

Parmi les espèces de poissons inventoriées dans le réservoir Beaudet et qui pourraient se nourrir de plantes aquatiques, notons la ouitouche, le mené à nageoires rouges et le mulot à cornes. Toutefois ces espèces sont principalement benthivores et les matières végétales ne font partie de leur diète qu'à l'occasion. Par conséquent, leur utilisation à des fins de contrôle des plantes aquatiques s'avère peu prometteuse.

En conclusion, l'introduction d'espèces de poissons herbivores afin de contrôler la prolifération excessive de plantes aquatiques ne s'avère pas propice au contexte du réservoir Beaudet.

7.3 Contrôle chimique

Utilisation d'herbicides

Les herbicides tels que le fluoridone contrôlent la prolifération des plantes aquatiques par leur action toxique. Cet herbicide ne laisse pas de résidus toxiques pouvant s'accumuler dans la chaîne alimentaire et présente une toxicité très faible envers les organismes non-cible tels les poissons, les organismes benthiques, les invertébrés, les oiseaux et l'homme (*Hamelink et al., 1986*) dans *National Research Council, 1992*). Toutefois, son utilisation est coûteuse. Malgré la grande efficacité des herbicides dans le contrôle de la prolifération excessive de plantes

aquatiques, leurs effets à long terme sur la faune aquatique sont mal définis, et leur utilisation dans un réservoir d'eau potable pourrait être très mal vue par la population. Pour l'ensemble de ces raisons, nous ne recommandons pas cette option.

8.0 CONTRÔLE DES ALGUES PHYTOPLANCTONIQUES

8.1 Contrôle physique

8.1.1 Dilution ou lessivage des algues

Cette technique consiste à diluer ou à lessiver les algues présentes dans le réservoir en y faisant passer un plus grand volume d'eau par unité de temps pendant la période où l'on observe des blooms d'algues concentrés. Toutefois, cette technique qui ne résout en rien les causes du problème présente des coûts d'opération élevés (pompage de l'eau) et récurrents. De plus, elle s'applique surtout dans des conditions où l'approvisionnement en eau n'est pas limitant. Or, les blooms d'algues surviennent principalement au cœur de l'été lorsque les besoins en eau sont très élevés et les ressources très limitées. L'utilisation de cette technique est donc contre-indiquée dans le contexte du réservoir Beaudet.

8.1.2 Filtration des algues

Cette technique, qui est très peu répandue et toujours expérimentale, consiste à pomper l'eau du lac où les blooms d'algues sont particulièrement concentrés, de la filtrer à l'aide de micro-filtres, et de récupérer les algues à l'aide d'un système de nettoyage des filtres. Toutefois, ce type de technique n'est pas approprié au réservoir Beaudet puisque les concentrations d'algues phytoplanctoniques qu'on y retrouve ne sont pas suffisantes pour rendre cette méthode économiquement et techniquement rentable.

8.2 Contrôle chimique

8.2.1 Utilisation d'algicides

Les algicides sont des agents chimiques qui permettent le contrôle des algues par l'action de leur effet toxique. L'algicide le plus couramment utilisé est le sulfate de cuivre, auquel les algues bleues-vertes sont particulièrement sensibles. Malgré la grande efficacité des algicides à contrôler la prolifération excessive d'algues, ils ne résolvent aucunement les causes du problème. Ces substances peuvent occasionner des problèmes de qualité de l'eau et des sédiments. De plus, leurs effets ne persistent que pour une courte période et ils présentent des risques pour les espèces non-cibles. Par conséquent, leur utilisation dans un réservoir d'eau potable n'est pas recommandée.

8.3 Contrôle biologique

8.3.1 Introduction de poissons planctivores (phytoplancton)

L'introduction d'espèces se nourrissant principalement de phytoplancton, telles la couette et le meunier à tête carrée, a été mise à l'essai dans certains plans d'eau américains. Toutefois, cette technique est expérimentale et son succès est plutôt mitigé. Le broutage de ces espèces occasionne souvent une augmentation de la turbidité de l'eau et une recirculation des éléments nutritifs captés dans les sédiments, sans pour autant obtenir des baisses marquées des concentrations d'algues phytoplanctoniques dans l'eau.

8.3.2 Retrait massif de poissons planctivores (zooplancton)

Une autre méthode de contrôle biologique des algues phytoplanctoniques est le retrait massif de poissons qui se nourrissent de zooplancton. Cette technique a pour effet de faire augmenter la population de zooplancton et ainsi de réduire, dans les meilleurs cas, les populations de

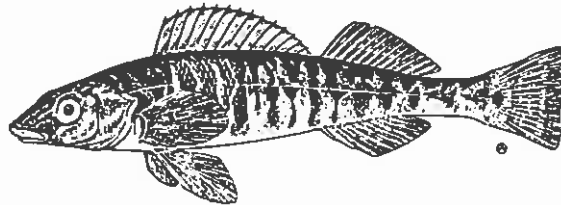
phytoplancton par un facteur de 10 ou plus (Henrikson et al. 1980 et Reinertsen et al., 1990 dans National Research Council, 1992). Toutefois, cette méthode est toujours expérimentale et son efficacité est spécifique à chaque plan d'eau et difficilement prévisible. De plus, elle entraîne des coûts récurrents, puisqu'un repeuplement du réservoir s'effectuera à partir de la rivière Bulstrode et que des campagnes de pêche périodiques seront nécessaires afin de maintenir les populations de poissons planctivores à un niveau bas.

Par conséquent, cette méthode pourrait éventuellement être appliquée au réservoir Beaudet conjointement à l'application de méthodes de contrôle des éléments nutritifs. Ces dernières permettent un contrôle à plus long terme des algues. Le retrait massif de poissons zooplanctivores pourrait être réalisé à titre complémentaire et expérimental puisque son efficacité est difficilement prévisible. L'avantage principal de cette technique est son faible coût d'opération ainsi que le peu d'effet nocif qu'elle entraîne. Cette méthode pourrait donc être utilisée pendant une période donnée afin d'en vérifier l'efficacité et de décider s'il s'avère pertinent de poursuivre l'expérience.

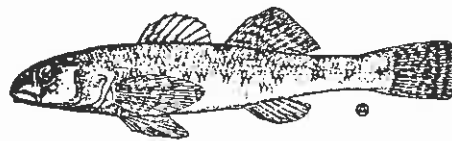
Les espèces visées par le retrait massif sont le fouille-roche, le raseux-de-terre noir et le mulot à cornes (figure 8.1). Le régime alimentaire de ces espèces est composé entre autres de zooplancton. Elles sont de petite taille, et peuvent être capturées facilement à l'aide de bourolles (figure 8.2). Les campagnes de pêche pourraient se faire à l'été par un étudiant qui installerait les bourolles, récolterait les espèces-cibles et relâcherait les autres espèces. L'achat des bourolles (50), d'une chaloupe avec moteur électrique, deux batteries et un chargeur représente des coûts approximatifs de 3 000 \$ et les frais d'opération sont d'environ 4 000 \$ par année.

FIGURE 8.1

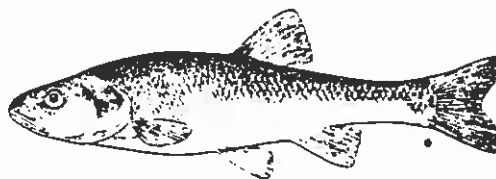
Espèces de poissons pouvant faire l'objet d'un programme de retrait massif.



Fouille-roche
Percina caprodes



Raseux-de-terre noir
Etheostoma nigrum



Mulet à cornes
Semotilus atromaculatus

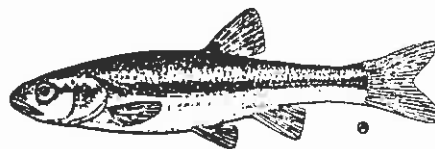




FIGURE 8.2
Type de bourolle pouvant être utilisée dans le cadre
d'un programme de retrait massif.

9.0 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

9.1 Recommandations générales

Dans une perspective à long terme d'utilisation du réservoir Beaudet comme source d'eau potable et de contrôle permanent de la prolifération des plantes et algues aquatiques dans le réservoir, il est impératif de commencer immédiatement à mettre de l'avant un programme de contrôle à long terme des sources de pollution agricoles et domestiques dans le bassin versant. C'est pourquoi chaque option de contrôle des plantes aquatiques et algues phytoplanctoniques qui est proposée ci-après comprend un tel programme.

Un plan de gestion environnementale du bassin versant serait requis et devrait être coordonné par un seul organisme avec le pouvoir de suggérer et/ou d'exiger (soit directement ou indirectement via les ministères impliqués) des modifications aux pratiques agricoles et aux modes de disposition des effluents domestiques à l'intérieur du bassin versant. La municipalité de Victoriaville peut contacter le MEF (Direction du milieu hydrique) et Roche ltée qui sont tous deux familiers avec ce mode de gestion environnementale du territoire par bassin versant, et qui peuvent lui fournir l'assistance technique nécessaire pour mettre de l'avant un tel programme. Le programme de contrôle des sources de pollution agricoles pourrait éventuellement être financé par certains programmes de financement du MEF et du MAPAQ.

Toutefois, il est important de savoir que l'implantation de ce type de programme prend un certain temps et que les résultats visibles n'apparaissent qu'après quelques années d'application des mesures.

9.2 Synthèse des techniques de contrôle

Afin d'obtenir des résultats tangibles à court terme, dans le contrôle des éléments nutritifs, des interventions spécifiques ont été proposées dans le présent rapport. Ces mesures sont énumérées au tableau 9.1 avec leurs avantages, leurs désavantages, leur efficacité à court et à long terme ainsi que leur applicabilité au réservoir Beaudet. Le tableau 9.1 présente également des mesures visant à contrôler la prolifération excessive des plantes aquatiques et des algues phytoplanctoniques.

9.3 Options d'intervention

L'évaluation des mesures présentées au tableau 9.1 a permis d'en retenir un certain nombre propices au réservoir Beaudet et à les agencer sous la forme de différentes options de contrôle présentant différents coûts et bénéfices associés. Huit options ont d'abord été définies, soit quatre options (1 à 4) impliquant l'installation de marais épurateurs sans réaliser de travaux de dragage et quatre options (5 à 8) impliquant des travaux de dragage avec ou sans marais épurateurs. Ces options sont présentées plus loin aux figures 9.1 à 9.8.

Excavation du lac

À la demande des responsables de la ville de Victoriaville, nous avons examiné la possibilité de procéder à l'excavation "à sec" du réservoir. Effectivement, il est possible de vider le réservoir Beaudet en utilisant l'ouvrage hydraulique qui en contrôle la sortie.

Le niveau de l'eau pourrait être diminué temporairement de façon à conserver uniquement l'ancien lit de la rivière. Les travaux d'excavation du lac sur 1,5 m ou 2,0 m d'épaisseur pourraient ainsi être réalisés "à sec" en ayant recours à de la machinerie traditionnelle moins coûteuse que les dragues hydrauliques. En raison de la faible capacité portante du terrain, il est probable que des chemins d'accès temporaires devraient être aménagés pour excaver le fond du réservoir.

TABLEAU 9.1
Synthèse des diverses techniques de contrôle des éléments nutritifs, des plantes aquatiques et algues phytoplanctoniques présentées dans le rapport

CONTRÔLE		AVANTAGES	DÉSAVANTAGES	EFFICACITÉ		APPLICABILITÉ
				À COURT TERME	À LONG TERME	
A) Des sources d'éléments nutritifs:						
• À court terme:	- bassin de décantation	• faible coût de construction, peu d'entretien	• efficacité moindre que marais épurateurs	F	F	E
	- marais épurateurs	• minimum d'entretien, peu dispendieux à entretenir et opérer	• coût élevé de construction	B	E	E
	- dragage des sédiments (ou excavation)	• bon contrôle des algues et plantes aquatiques • hausse de la capacité du réservoir • augmentation du potentiel récréatif	• hausse de la turbidité de l'eau de courte durée • problème de disposition des sédiments	E	B	E
	- précipitation et inactivation du phosphore	• limite le phosphore disponible pour la croissance des végétaux	• formation d'une couche brune au fond de l'eau • potabilité de l'eau compromise • coûts élevés en produits chimiques	B	F	F
	- pollution agricole - pollution domestique	• réduit la pollution à la source • traitement des effluents	• implique beaucoup d'intervenants • lenteur du processus	F F	B - E B	E B
B) Des plantes aquatiques:						
• Contrôle physique:	- récolte mécanique	• convient bien à nos latitudes	• augmentation à court terme de la turbidité, hausse de la concentration en éléments nutritifs, récurrence d'entretien du plan d'eau	E	F - B	E
	- baisse du niveau du réservoir	• élimine certaines plantes • faibles coûts	• touche seulement quelques espèces végétaux • en hiver baisse des ressources en eau	F	F	F
	- diversion ou refroidissement des eaux de Lactantia	• limite la croissance des algues et des plantes aquatiques	• Coûts pour Lactantia	E	E	E
• Contrôle biologique:	- introduction de poissons herbivores	• réduction possible de la quantité d'algue et de plantes aquatiques	• déplacement d'espèces de poissons déjà en place • moins efficace en climat froid • hausse de la turbidité	F	B	F
• Contrôle chimique:	- utilisation d'herbicides	• élimine les plantes aquatiques	• très coûteux • peu approprié pour les réservoir d'eau potable	E	B	F
C) Des algues phytoplanctoniques:						
• Contrôle physique:	- dilution ou lessivage	• diminue la quantité d'algues	• coûts élevés, nécessite beaucoup d'eau	B	F	F
	- filtration	• diminue la quantité d'algues	• technique encore au stade expérimental	F	F	F
• Contrôle biologique:	- introduction de poissons phytoplanctivores	• diminue la quantité d'algues	• augmentation de la turbidité, recirculation des éléments nutritifs	F	F - B	F
	- retrait massif de poissons zooplanctivores	• diminue la quantité d'algues	• stade expérimental, efficacité difficile à prédire	F	F - B	E
• Contrôle chimique:	- utilisation d'algicides	• diminue la quantité d'algues	• problèmes de qualité de l'eau et des sédiments, risques pour espèces non-cibles, persistance	E	F	F

LÉGENDE: E: excellente
B: bonne
F: faible

D'autre part, cette approche implique le prolongement temporaire de la prise d'eau jusqu'à l'embouchure de la rivière Bulstrode où un ouvrage de contrôle temporaire devrait être construit afin d'assurer un minimum de sécurité pendant les travaux advenant une crue subite des eaux. Le coût approximatif de ces travaux est évalué à 300 000 \$.

Les coûts d'excavation avec de la machinerie traditionnelle sont de l'ordre de 5 \$/m³, soit la moitié du coût unitaire prévu pour le dragage hydraulique du lac.

Les coûts d'excavation pourraient ainsi varier de 281 000 \$ à 1,06 M\$ si on creusait le réservoir (zone A) à 1,5 m ou 2 m.

Si on excavait le réservoir et l'embouchure de la rivière Bulstrode (zones A et B) à 1,5 m ou à 2 m, les coûts varieraient de 395 000 \$ à 1,2 M\$. Ces coûts ne comprennent pas les coûts de confinement des matériaux excavés le long de la rive nord du réservoir, ni les études d'ingénierie nécessaires avant la réalisation des travaux. Ils peuvent donc se comparer directement avec les coûts de dragage présentés au tableau 6.2 (page 61).

Les options 5, 6, 7 et 8 pourraient ainsi être réalisées par excavation plutôt que par dragage. L'illustration de ces options (5A, 6A, 7A et 8A) est présentée aux figures 9.9 à 9.12 inclusivement.

Deux autres options ont aussi été évaluées, soit l'excavation du réservoir à 2 m de profondeur sans l'installation de marais épurateurs. Il s'agit des options 9 et 10 présentées respectivement aux figures 9.13 et 9.14.

FIGURE 9.1
Option 1

OPTION 1

\$560 000 + \$10 000 / année

Marais épurateurs
rivière L'Abbé
\$500 000

Récolte mécanique
des plantes aquatiques
\$60 000 + \$10 000 / année

Diversion des eaux de
refroidissement de la
compagnie Lactantia
\$20 000
(couvert par la compagnie)

Programmes de contrôle
à long terme de la
pollution agricole

Programmes de contrôle
à long terme de la
pollution domestique

FIGURE 9.2
Option 2

OPTION 2

\$563 000 à \$663 000 + \$14 000 / année

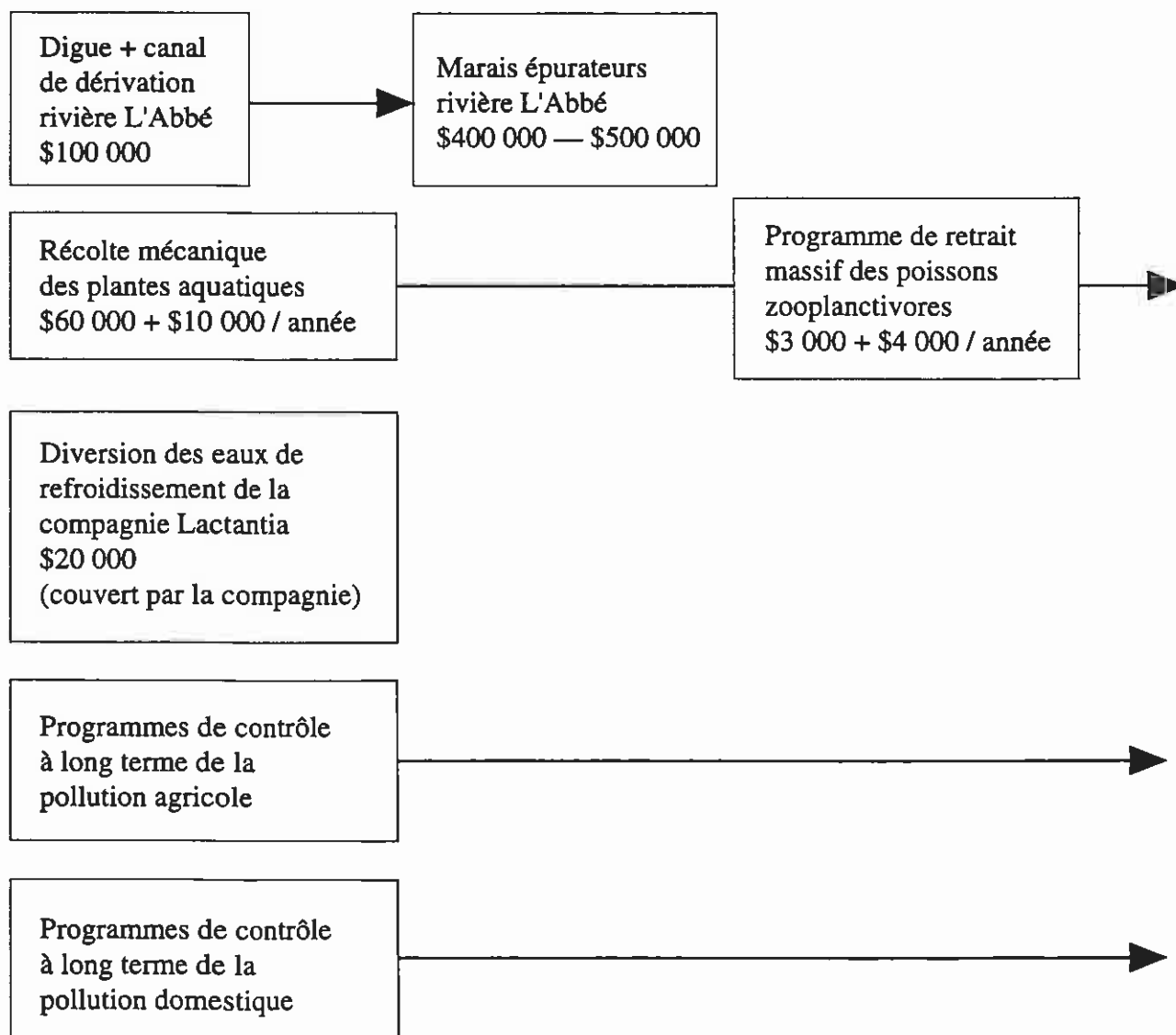


FIGURE 9.3
Option 3

OPTION 3

\$810 000 + \$10 000 / année

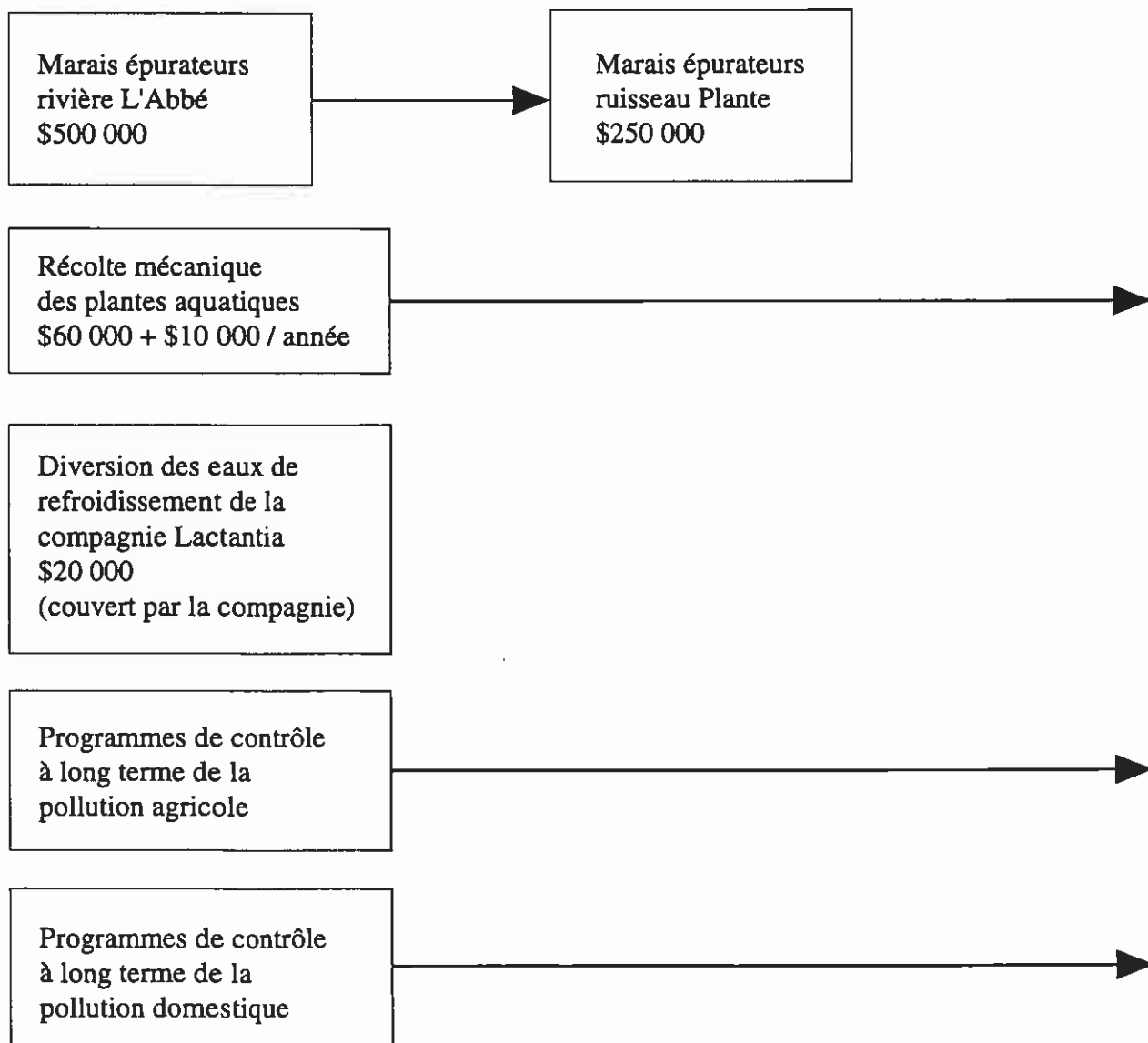


FIGURE 9.4
Option 4

OPTION 4

\$913 000 + \$14 000 / année

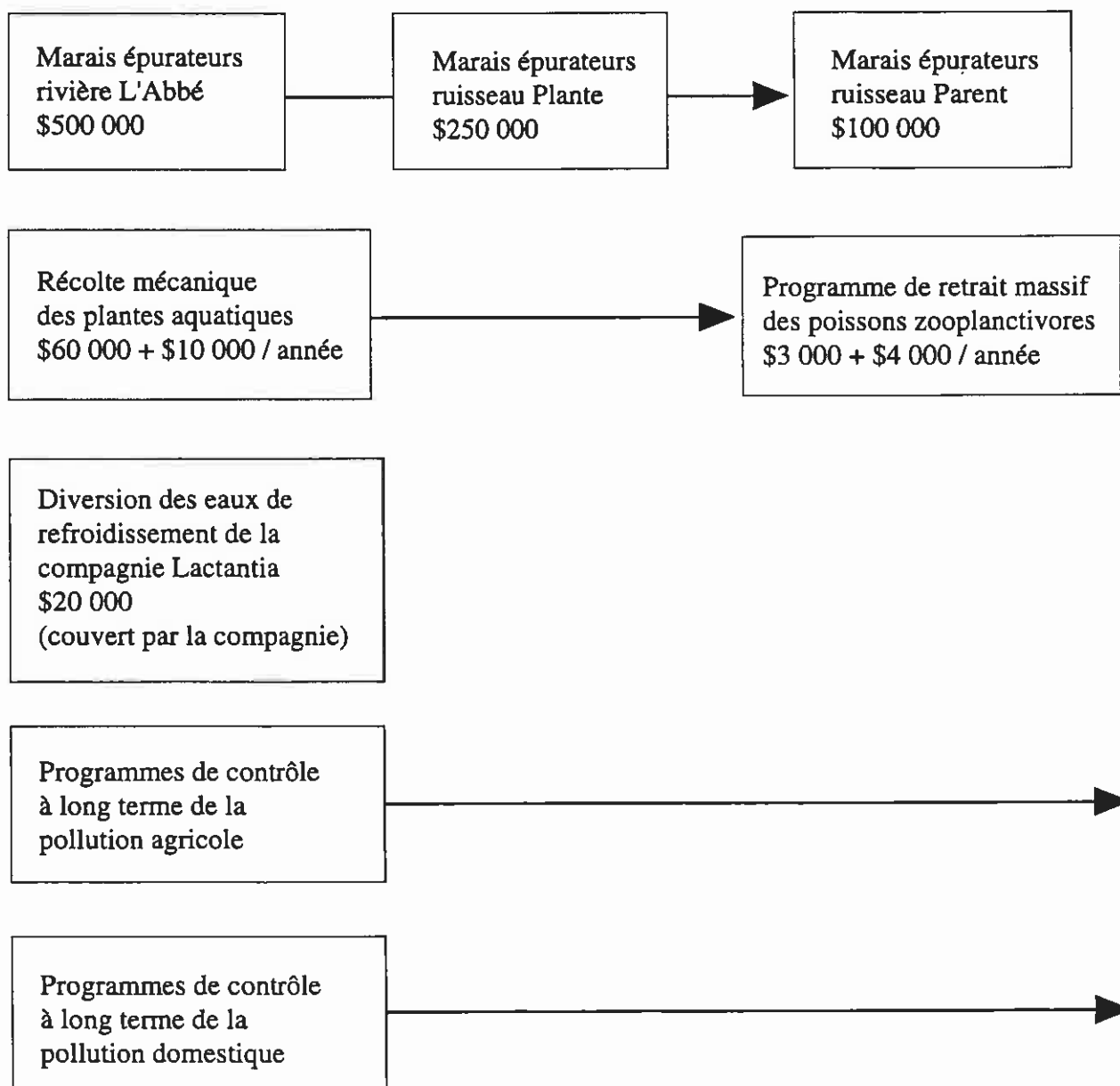
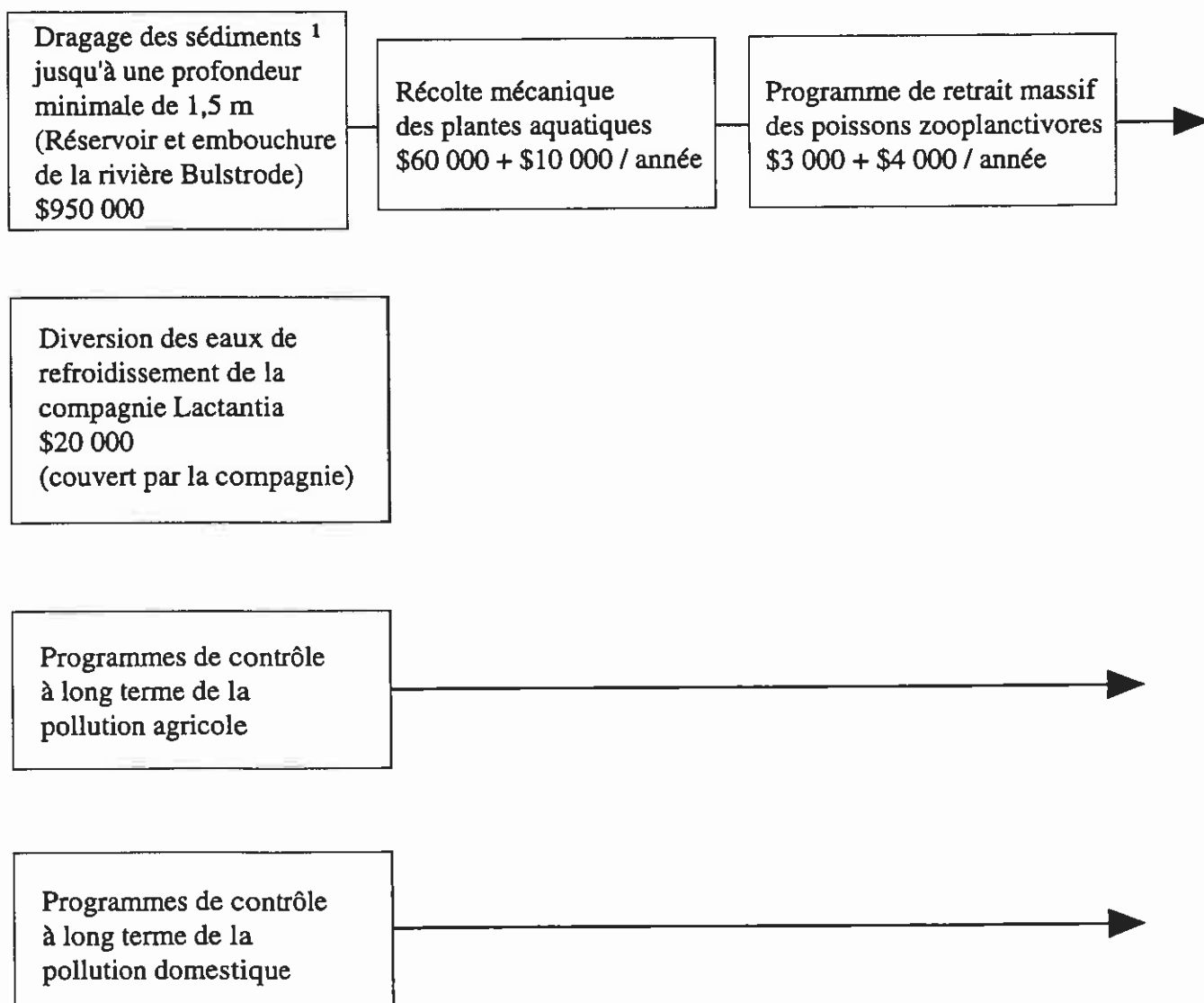


FIGURE 9.5
Option 5

OPTION 5

\$1,01 million + \$14 000 / année

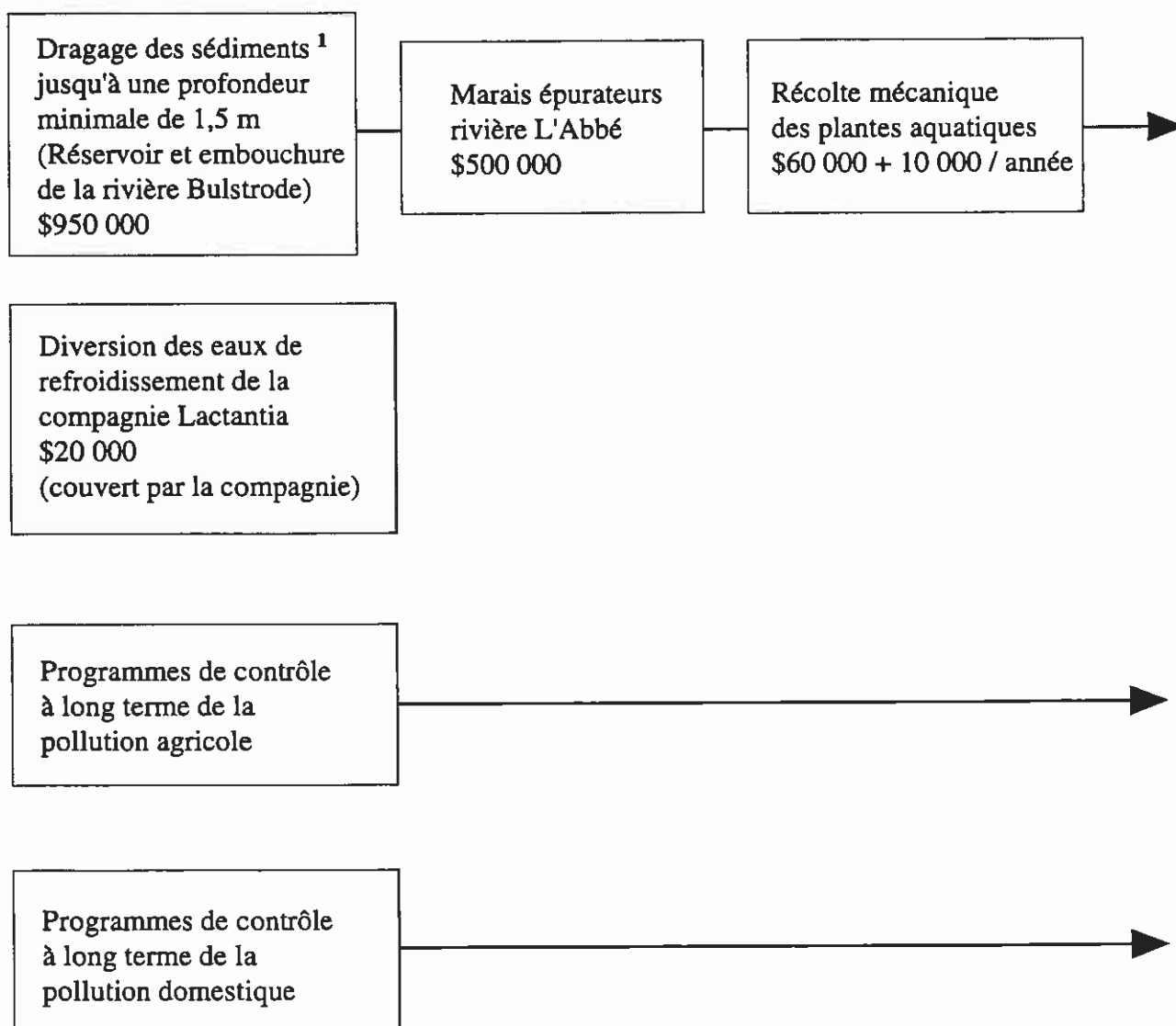


¹ Des coûts d'ingénierie, de confinement et de suivi des matériaux de dragage (environ 20% des coûts de dragage) sont compris dans cette estimation.

FIGURE 9.6
Option 6

OPTION 6

\$1,51 million + \$10 000 / année

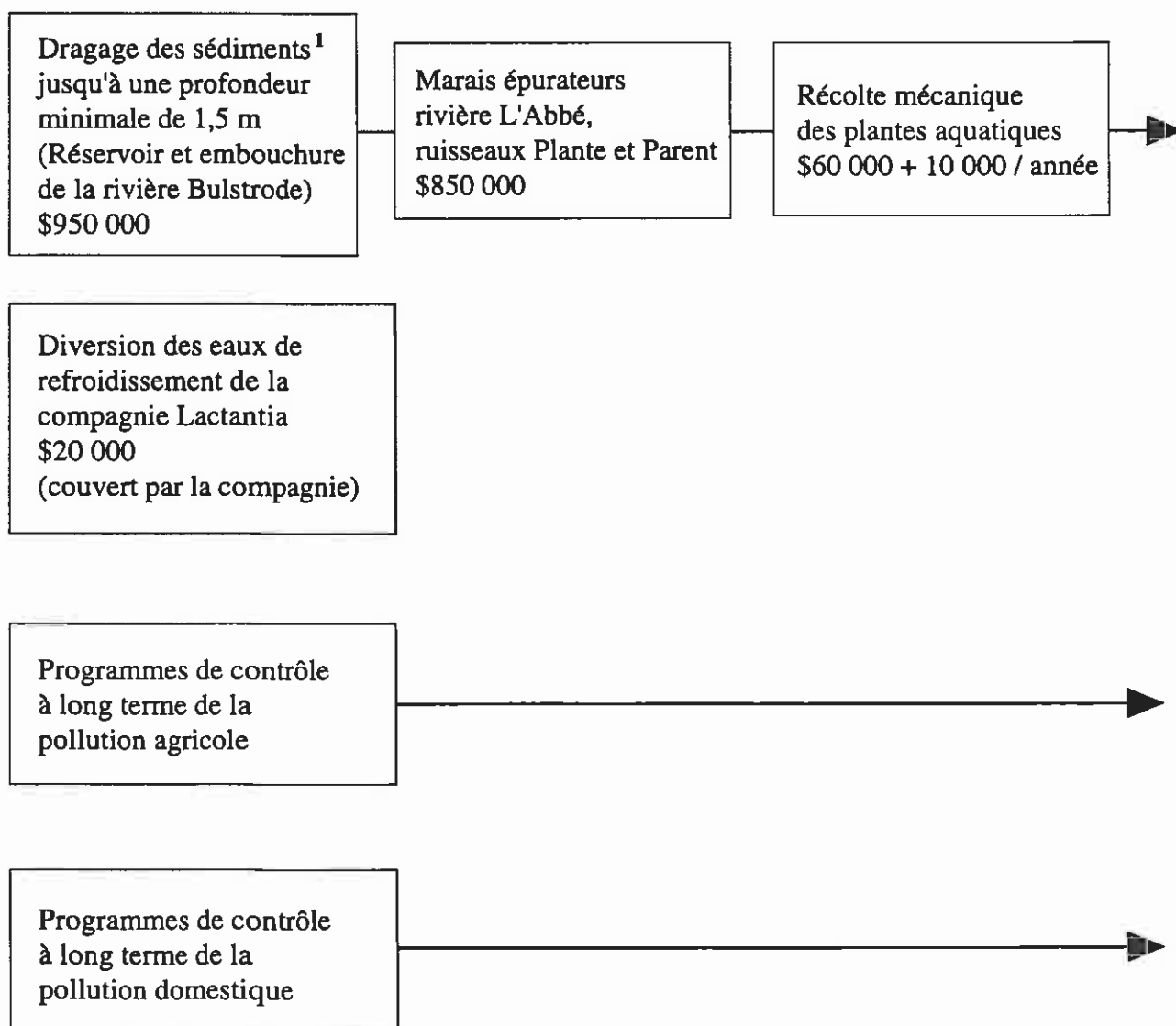


¹ Des coûts d'ingénierie, de confinement et de suivi des matériaux de dragage (environ 20% des coûts de dragage) sont compris dans cette estimation.

FIGURE 9.7
Option 7

OPTION 7

\$1,86 million + \$10 000 / année

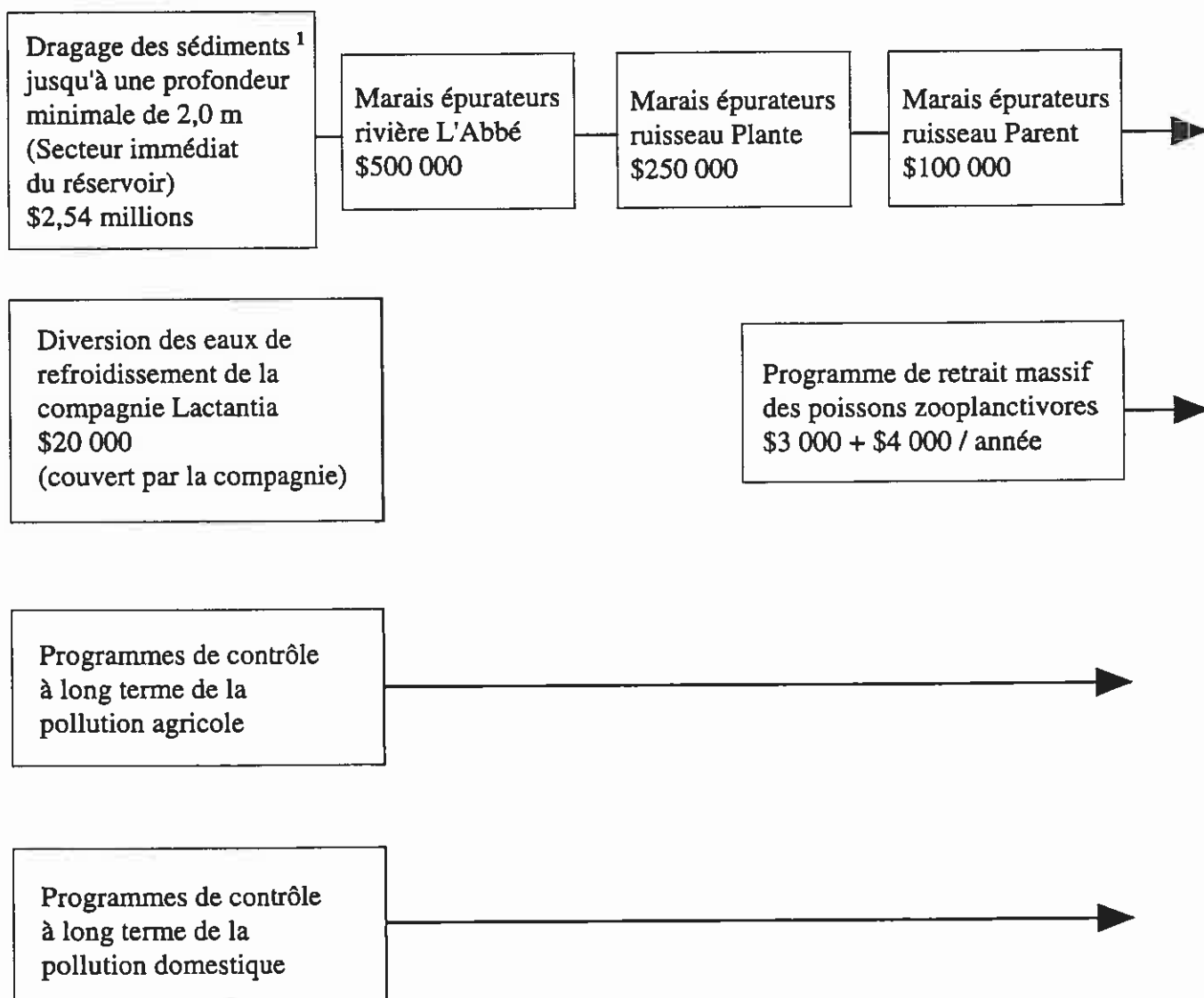


¹ Des coûts d'ingénierie, de confinement et de suivi des matériaux de dragage (environ 20% des coûts de dragage) sont compris dans cette estimation.

FIGURE 9.8
Option 8

OPTION 8

\$3,4 millions + \$4 000 / année

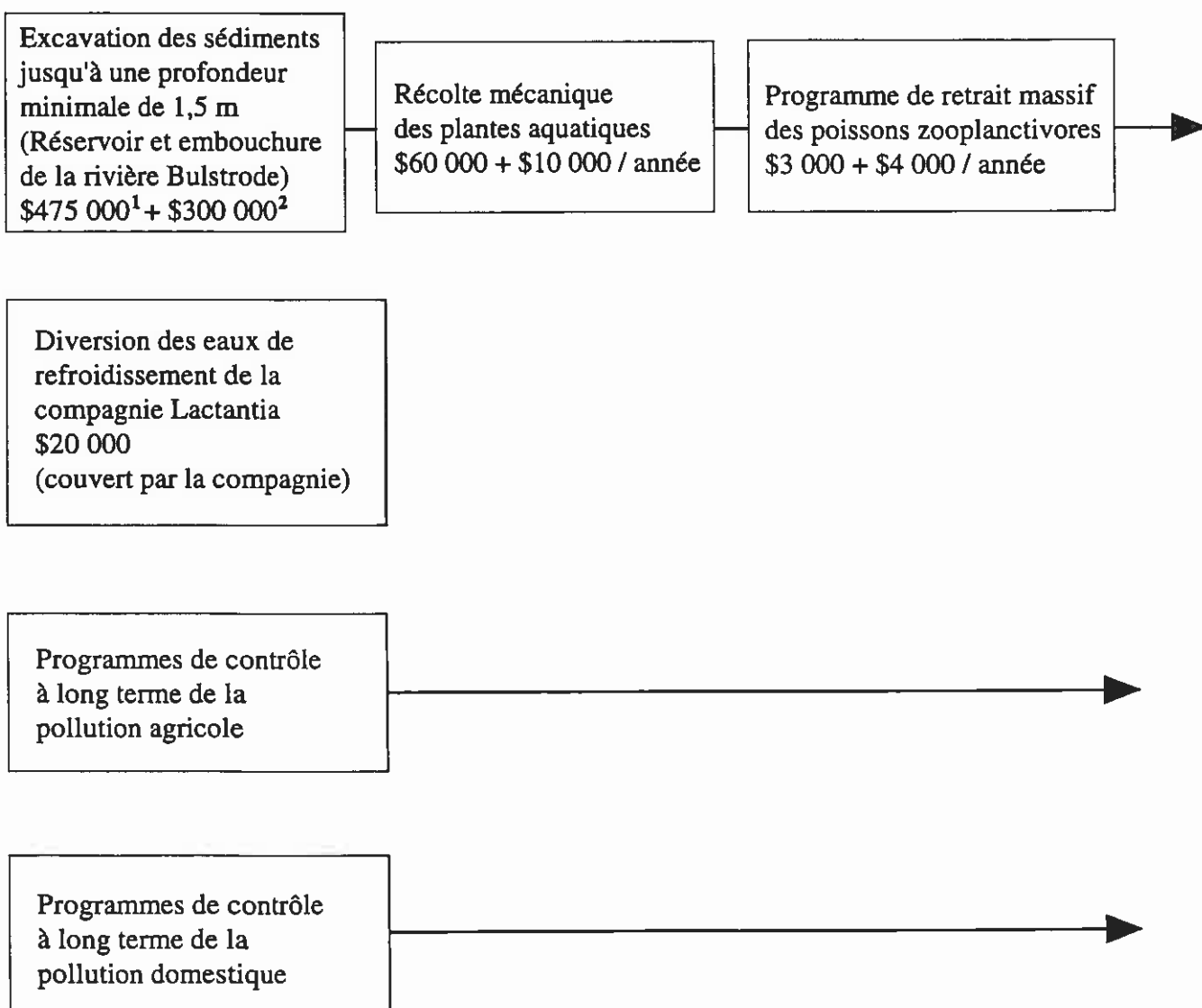


¹ Des coûts d'ingénierie, de confinement et de suivi des matériaux de dragage (environ 20% des coûts de dragage) sont compris dans cette estimation.

FIGURE 9.9
Option 5A

OPTION 5A

\$838 000 + \$14 000 / année

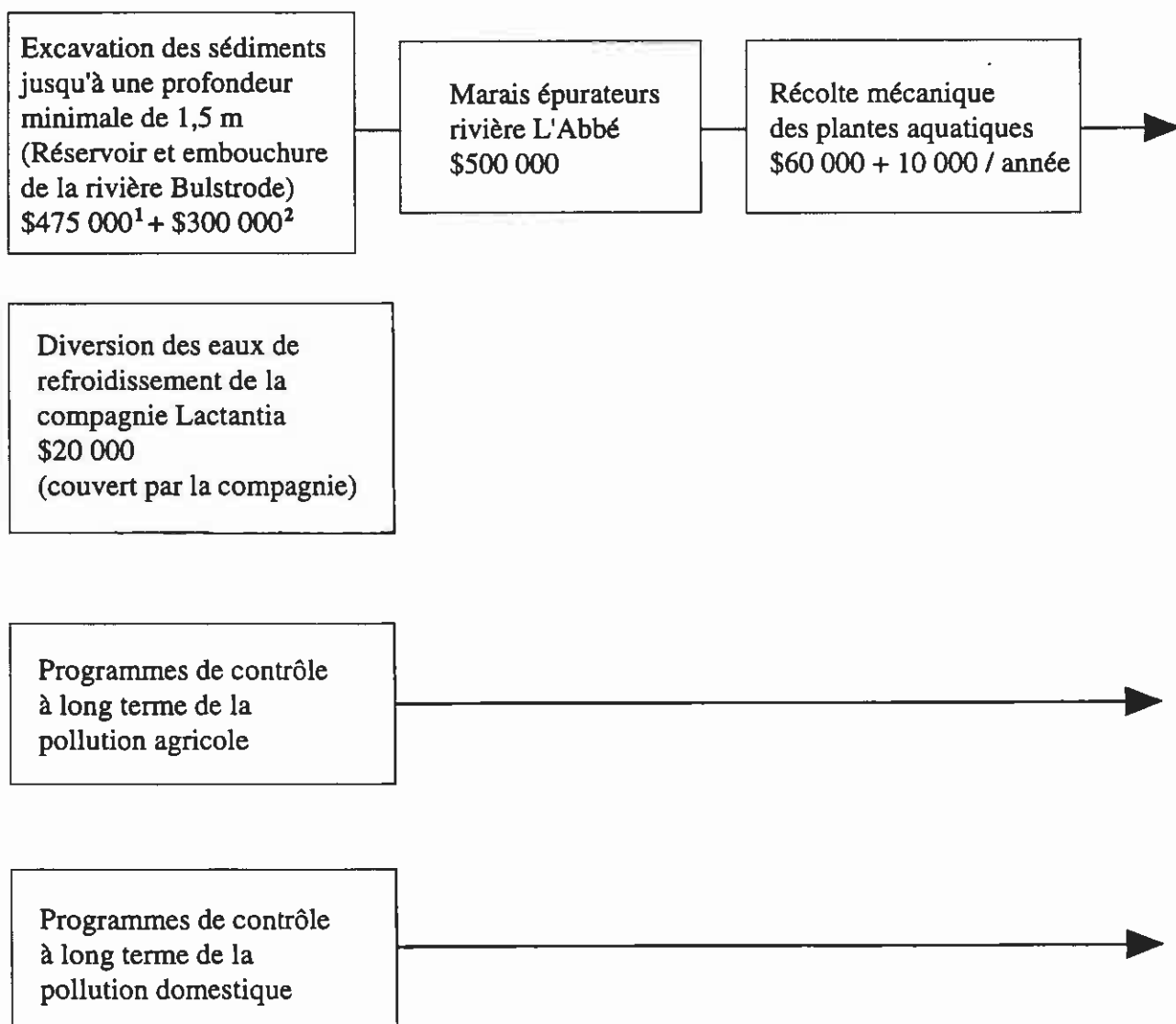


- 1 Des coûts d'ingénierie, de confinement et de suivi des matériaux de dragage (environ 20% des coûts de dragage) sont compris dans cette estimation.
- 2 Estimation pour prolongement de la prise d'eau et construction d'une digue de retenue à l'embouchure de la rivière.

FIGURE 9.10
Option 6A

OPTION 6A

\$1,34 million + \$10 000 / année

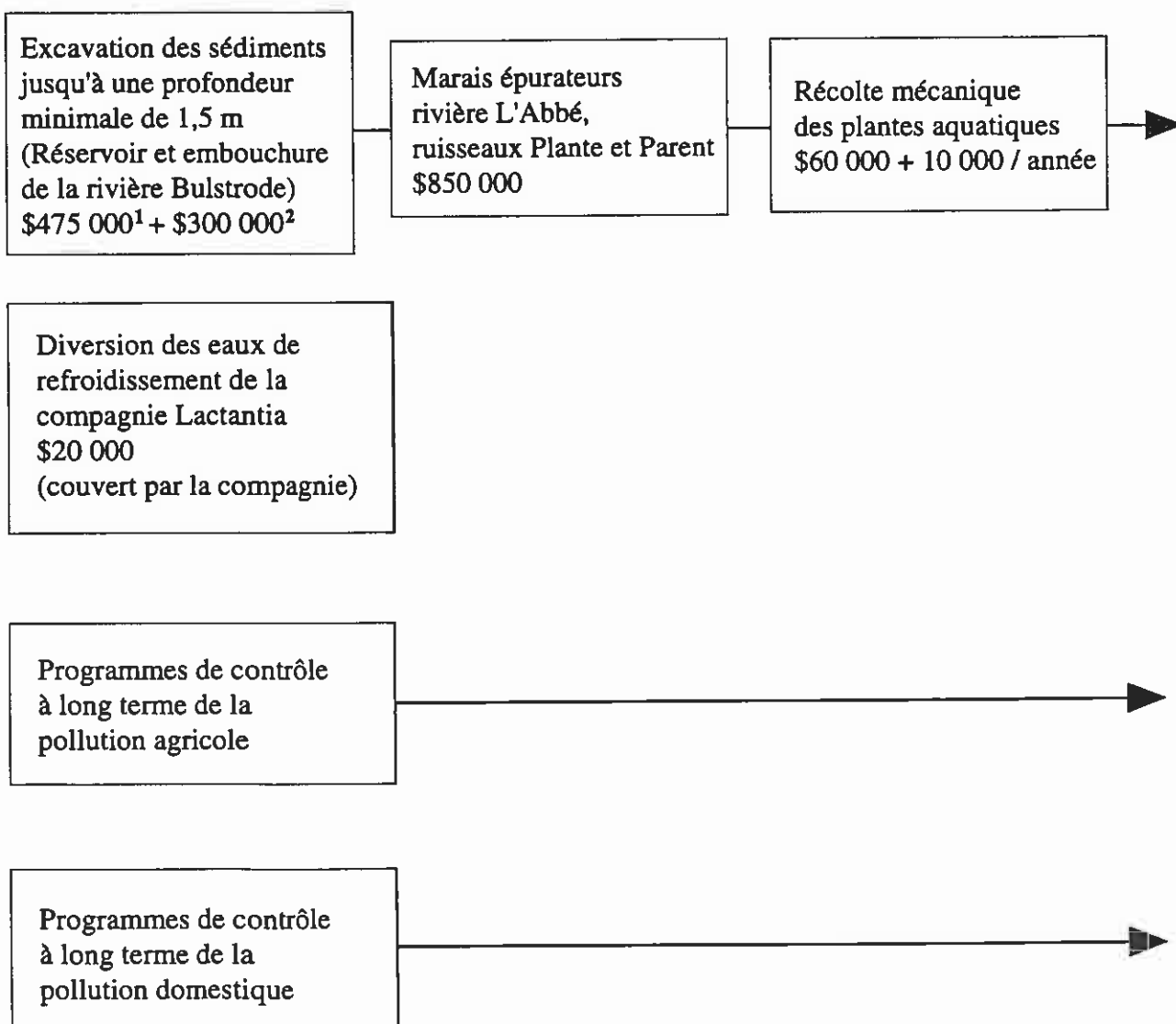


- 1 Des coûts d'ingénierie, de confinement et de suivi des matériaux de dragage (environ 20% des coûts de dragage) sont compris dans cette estimation.
- 2 Estimation pour prolongement de la prise d'eau et construction d'une digue de retenue à l'embouchure de la rivière.

FIGURE 9.11
Option 7A

OPTION 7A

\$1,69 million + \$10 000 / année

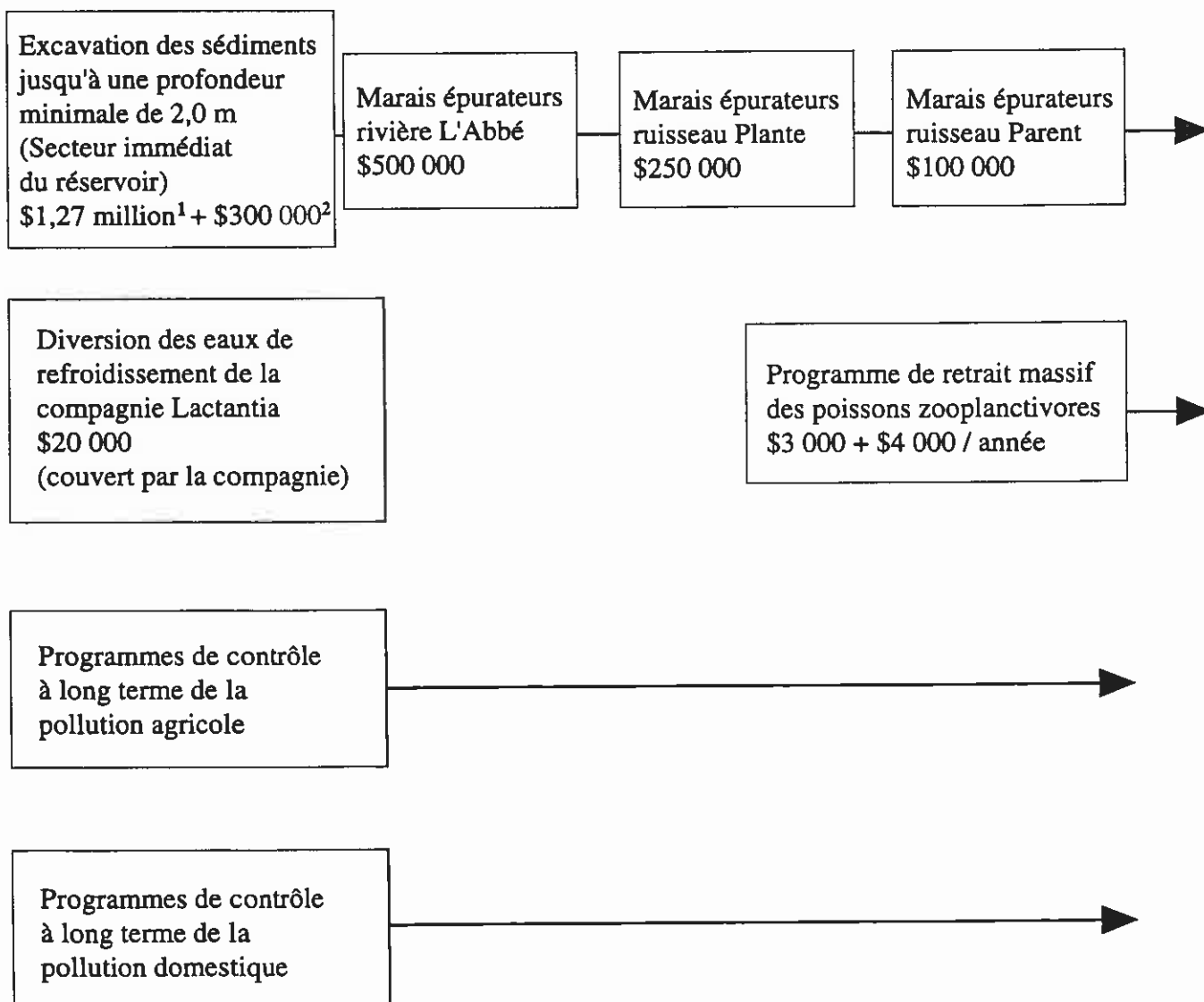


- 1 Des coûts d'ingénierie, de confinement et de suivi des matériaux de dragage (environ 20% des coûts de dragage) sont compris dans cette estimation.
- 2 Estimation pour prolongement de la prise d'eau et construction d'une digue de retenue à l'embouchure de la rivière.

FIGURE 9.12
Option 8A

OPTION 8A

\$2,42 millions + \$4 000 / année

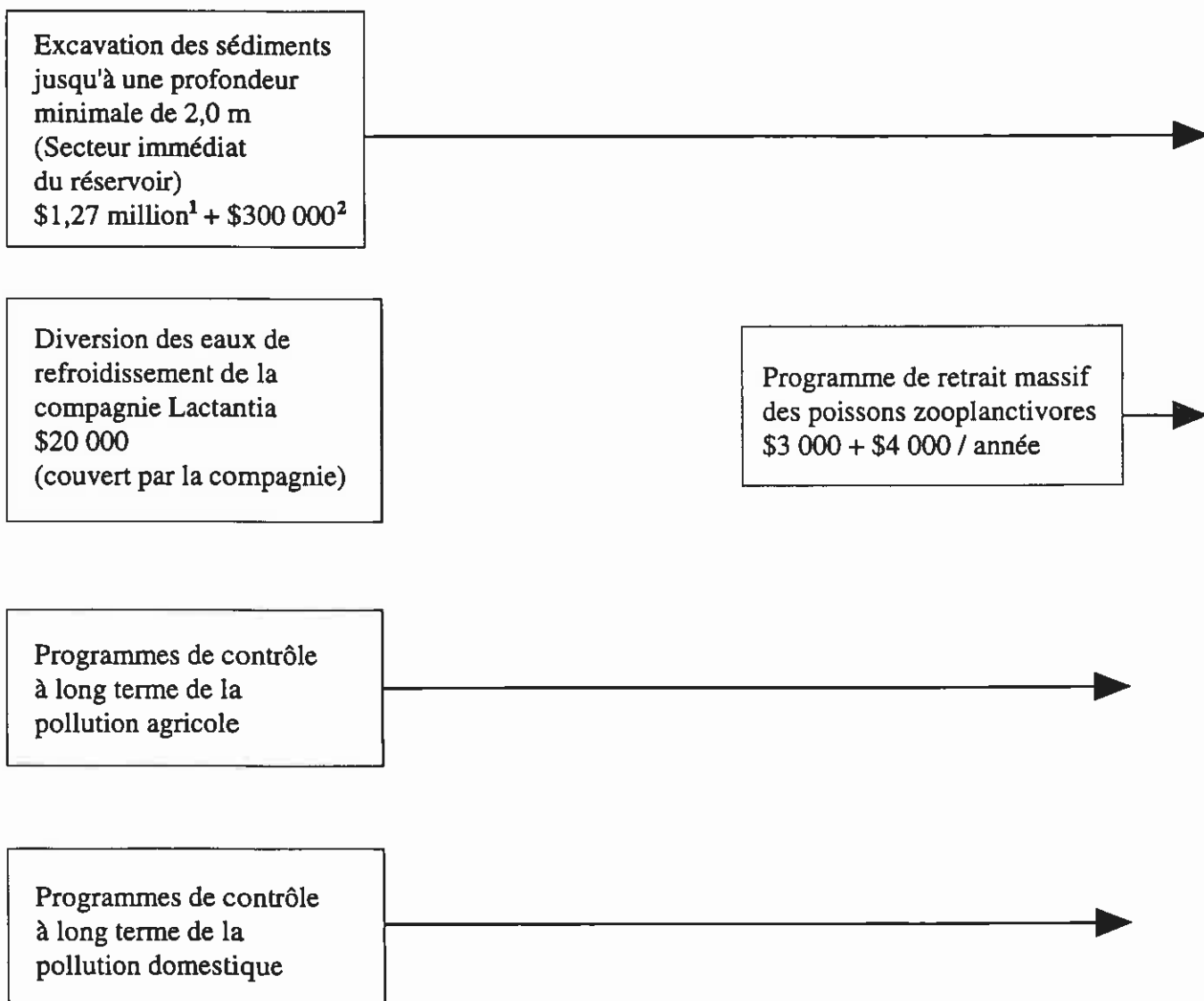


- 1 Des coûts d'ingénierie, de confinement et de suivi des matériaux de dragage (environ 20% des coûts de dragage) sont compris dans cette estimation.
- 2 Estimation pour prolongement de la prise d'eau et construction d'une digue de retenue à l'embouchure de la rivière.

FIGURE 9.13
Option 9

OPTION 9

\$1,57 million + \$4 000 / année



- 1 Des coûts d'ingénierie, de confinement et de suivi des matériaux de dragage (environ 20% des coûts de dragage) sont compris dans cette estimation.
- 2 Estimation pour prolongement de la prise d'eau et construction d'une digue de retenue à l'embouchure de la rivière.

FIGURE 9.14
Option 10

OPTION 10

\$1,74 million + \$4 000 / année

Excavation des sédiments
jusqu'à une profondeur
minimale de 2,0 m
(Réservoir et embouchure
de la rivière Bulstrode)
\$1,44 million¹ + \$300 000²

Diversion des eaux de
refroidissement de la
compagnie Lactantia
\$20 000
(couvert par la compagnie)

Programme de retrait massif
des poissons zooplanctivores
\$3 000 + \$4 000 / année

Programmes de contrôle
à long terme de la
pollution agricole

Programmes de contrôle
à long terme de la
pollution domestique

- 1 Des coûts d'ingénierie, de confinement et de suivi des matériaux de dragage (environ 20% des coûts de dragage) sont compris dans cette estimation.
- 2 Estimation pour prolongement de la prise d'eau et construction d'une digue de retenue à l'embouchure de la rivière.

9.4 Comparaison des options et recommandations

Le tableau 9.2 fait la synthèse des différentes options, de leur coût et des bénéfices attendus.

Les options 1 à 4 avec marais épurateurs seulement (sans dragage ni excavation) présentent toutes l'inconvénient majeur de n'offrir qu'un contrôle à court terme des plantes aquatiques et de ne pas augmenter la capacité du lac.

D'autre part, au plan technique et économique, il est certain que les options avec excavation sont plus avantageuses que celles avec dragage hydraulique. Ainsi, les options 5A, 6A, 7A et 8A offrent les mêmes bénéfices que les options 5, 6, 7 et 8 pour un coût de réalisation nettement plus bas.

Au plan environnemental, on doit toutefois considérer que l'assèchement temporaire du réservoir aura des effets majeurs sur la faune aquatique qui l'habite. Ces effets seront pour le moins équivalents, sinon supérieurs à ceux découlant du dragage des sédiments au moyen d'une drague hydraulique. Étant donné le caractère hautement utilitaire du plan d'eau comme réservoir d'eau potable et du type de faune aquatique qu'on y retrouve, l'excavation à sec du réservoir nous apparaît acceptable au plan environnemental. La réalisation de l'étude d'impact qui sera requise ultérieurement, si le projet va de l'avant, permettra éventuellement de confirmer cette opinion.

Dans ce contexte, les options les plus efficaces (et les plus économiques) pour régler les problèmes d'éléments nutritifs d'algues et de plantes aquatiques dans le réservoir tout en augmentant sa capacité sont les options 7A et 8A.

TABLEAU 9.2

Synthèse des différentes alternatives de contrôle des plantes aquatiques et algues phytoplanctoniques

	Contrôle des apports d'éléments nutritifs			Contrôle des plantes aquatiques			Contrôle des algues phytoplanctoniques			Augmentation de la capacité du réservoir	Augmentation du potentiel récréatif
	Minimum	Moyen	Important	Court terme	Moyen terme	Long terme	Court terme	Moyen terme	Long terme		
Avec marais épurateurs seulement	OPTION 1 \$560 000 + \$10 000 / année	✓		✓			✓				
	OPTION 2 \$563 000 à 663 000 + \$14 000 / année	✓		✓			✓				
	OPTION 3 \$810 000 + \$10 000 / année		✓	✓				✓			
	OPTION 4 \$913 000 + \$14 000 / année		✓	✓				✓			
Avec dragage	OPTION 5 * \$1,01 million + \$14 000 / année	✓			✓			✓		✓	✓
	OPTION 6 * \$1,51 million + \$10 000 / année	✓			✓			✓		✓	✓
	OPTION 7 * \$1,86 million + \$10 000 / année		✓			✓			✓	✓	✓
	OPTION 8 * \$3,4 millions + \$4 000 / année		✓			✓			✓	✓	✓
Avec excavation	OPTION 5A * \$838 000 + \$14 000 / année	✓			✓			✓		✓	✓
	OPTION 6A * \$1,34 million + \$10 000 / année	✓			✓			✓		✓	✓
	OPTION 7A * \$1,69 million + \$10 000 / année		✓			✓			✓	✓	✓
	OPTION 8A * \$2,42 millions + \$4 000 / année		✓			✓			✓	✓	✓
Avec excavation à 2 m. sans marais épurateur	OPTION 9 * \$1,57 million + \$4 000 / année	✓				✓		✓		✓	✓
	OPTION 10 * \$1,74 million + \$4 000 / année		✓			✓		✓		✓	✓

* Des coûts d'ingénierie, de confinement et de suivi (environ 20% des coûts de dragage ou d'excavation) sont compris dans cette estimation.

Les options 9 et 10 qui prévoient des excavations jusqu'à 2 m, sans marais épurateurs, offrent les avantages d'un contrôle à long terme des plantes aquatiques et d'une augmentation de la capacité du réservoir. Par contre, ces options n'assurent pas de contrôle à long terme des algues et des apports en éléments nutritifs. Ces options pourraient toutefois constituer une excellente première phase d'intervention, laquelle pourrait être complétée ultérieurement par l'ajout de marais épurateurs.

Mentionnons en terminant que toutes ces options d'intervention requièrent au préalable une étude d'impact sur l'environnement. Le coût d'une telle étude n'est pas incluse dans les estimations de coûts présentées précédemment. De façon générale, le coût d'une telle étude peut représenter 8 à 10% environ des coûts de réalisation des travaux.

10.0 RÉFÉRENCES

- Auger, P., M.P. Lamontagne et A. Guillemette. 1973. Inventaire biophysique de la rivière Bulstrode (Bassin Nicolet) Québec: Ministère des communications, Service de la reprographie, 35 p.
- Barnes, R.K. et K.H. Mann (eds), 1980. *Fundamentals of Aquatic Ecosystems*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, United Kingdom, 294 p.
- Blanchette, P., D. Verville, A. Daigle et A. Rouleau, 1983. *Environnement - Réservoir Beaudet. Projet PRIME du gouvernement du Québec*, 54 p.
- Campbell, P.G. 1974. Résumé de l'étude "Décapage du réservoir projeté à Victoriaville". Préparé pour le ministère des Richesses naturelles, Service de l'aménagement hydraulique. 6 p.
- Desrochers, N., N. Blanchette et L. Houle. 1979. Diagnose écologique du barrage-réservoir de la rivière Bulstrode (Victoriaville, Québec). Université du Québec à Trois-Rivières.
- Dussart, B., "Limnologie, l'étude des eaux continentales", Gauthier-Villars, Paris, 1966, p.124-233.
- Environnement Canada, 1983. Échantillonnage pour la qualité de l'eau. Direction de la qualité des eaux, Direction générale des eaux intérieures, Ottawa, p.50-53.
- Hammer, D.A. 1992. Designing constructed wetlands systems to treat agricultural nonpoint source pollution. *Ecological engineering* 1 (1/2): 49-82.
- Hancock, F.D. 1979. Diatom associations and succession in Lake Kariba, South Central Africa. *Hydrobiologia*, 67: 33-50.
- Hancock, F.D. 1973. The ecology of the diatoms of the Klip River, Southern Transvaal. *Hydrobiologia*, 42: 243-284.
- Hendry, C.D., P.L. Brezonick et E.S. Edgerton, 1981. Atmospheric deposition of nitrogen and phosphorus in Florida. In: Eisenreich, S.J. (ed.), *Atmospheric Pollutants in Natural Waters*, Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, Michigan, USA, p. 199-215.
- Magnan, P., 1989. The impact of cyprinid and catostomid introductions on brook charr, *Salvelinus Fontinalis*, populations: a review. In: H. Kanawabe et D.L.G. Noakes (ed.). *The biology of charrs and massue salmon*.
- MENVIQ, 1990. Critères de qualité de l'eau. Ministère de l'Environnement du Québec. Québec, 424 p.

-
- National Research Council 1992. Restoration of aquatic ecosystems. National Academy Press. (S. Maurizi et F. Poillon, Eds.), Washington, D.C., 552 p.
- Olem, H. et G. Flock, eds. 1990. Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual. 2nd edition. EPA 440/4-90-006. Prep. by N. Am. Lake Manage. Soc. for U.S. Environ. Prot. Agency, Washington, D.C.
- Reckhow, K.H., M.N. Beaulac et J.T. Simpson, 1980. Modeling phosphorus loading and lake response under uncertainty: a manual and compilation of export coefficients. Report no. EPA-400/5-80-011, US EPA, Office of Water Regulations, Criteria and Standards Division, Washington, D.C., 214 p.
- Ryding, S.O., Rast, W., Le contrôle de l'eutrophisation des lacs et des réservoirs, Masson/Unesco, Paris, 1994, p. 58-197;
- Simard, G. et R. Des Rosiers 1980. Qualité des eaux souterraines du Québec. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Environnement, Direction générale des inventaires et de la recherche, Service des eaux souterraines. 161 p.

ANNEXE 1

Niveaux d'eau journaliers estivaux de la rivière Bulstrode

ANNEXE 1

Niveaux d'eau journaliers estivaux¹ de la rivière Bulstrode²

Intervalle de récurrence (ans)	Niveaux d'eau estivaux (m)			
	Nombre de jours consécutifs			
	1	3	7	10
2	128,2	128,3	128,4	128,5
5	127,4	127,5	127,6	127,7
10	126,7	126,9	127,0	127,0
20	126,1	126,2	126,2	126,3
50	125,2	125,2	125,3	125,3

(1) 1ère lecture

(2) Station 030118

ANNEXE 2

**Données mensuelles de qualité de l'eau
au réservoir Beaudet de 1977 à 1980**

ANNEXE 2
Données mensuelles de qualité de l'eau au réservoir Beaudet de 1977 à 1980

Stations	1977									1978																									1979					1980							
	Réservoir Beaudet									Réservoir Beaudet																									Réservoir Beaudet					1980							
	3010030	3010032	3010033	3010030	3010032	3010033	3010030	3010032	3010033	3010030	3010032	3010034	3010032	3010034	3010030	3010032	3010034	3010030	3010032	3010034	3010030	3010032	3010034	3010030	3010032	3010034	3010030	3010032	3010034	3010030	3010032	3010034	3010030	3010032	3010034	3010030	3010032	3010034									
	Juillet	Juillet	Juillet	Août	Août	Août	Septembre	Septembre	Septembre	Janvier	Janvier	Janvier	Février	Février	Mars	Mai	Mai	Mai	Mai	Mai	Mai	Mai	Mai	Mai	Mai	Mai	Mai	Mai	Mai	Mai	Mai	Mai	Mai	Mai	Mai	Mai	Mai	Mai	Mai								
	0,5 m	0,5 m	0,5 m	0,5 m	0,5 m	1,0 m	1,0	0,5	0,5 m	0,5 m	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	0,5 m	0,5	0,5	0,5 m	0,5	0,5	0,5 m	0,5	0,5	0,5 m	0,5 m	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5 m	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5 m	1,0	1,0	1,0	1,0					
Profondeur d'échantillonnage																																															
Caractéristiques physiques																																															
Température (°C)	25,0	24,0		18,5	20,5	20,5	16,5	13,0	15,0	0,2	0,0	0,0	0,5	1,0	0,0	12,0	10,5	16,5	16,0	11,5	16,0	12,0	15,5	16,0	23,0	22,5	22,5	22,0	22,0	22,0	13,0	14,0	14,5	9,0	8,5	8,5	4,5	6,0	6,0	0,0	0,0	0,1	11,0	23,0	4,5	1,5	
Turbidité (UNT)	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	1,0	3,0	3,0	2,0	20,0	9,0	9,8	2,0	5,0	7,0	10,0	4,0	4,0	30,0	4,0	4,0	4,0	5,0	4,0	3,0	7,0	5,0	5,0	8,0	6,0	5,0	4,0	6,0	7,0	2,0	2,0	4,0	1,0	0,6	2,0	4,0	9,0	1,0	1,0		
Transparence (m)	1,3	1,6	1,3	1,5	1,3	1,3	1,4	1,1	1,1						0,0				1,0		0,8		0,9	0,9		0,9	0,9		0,9	1,0		0,7	0,9				1,5	1,5									
Oxygène dissous (mg/l)	9,6	8,6		9,3	6,5	7,2	9,4	6,4	8,4	14,0	12,0	12,8	11,6	13,6	14,4	12,0	11,4	10,0	9,6	11,0	9,6	10,4	8,5	8,4	7,7	7,0	6,3	7,2	7,7	7,4	9,8	8,8	9,5	11,8	11,8	11,6	13,6	12,9	13,8	13,9	13,5	13,6	10,4	6,2	12,4	12,4	
Caractéristiques générales																																															
Alcalinité totale (mg CaCO ₃ /l)	100,0	92,0	94,0				54,0	55,0	54,0	60,0	59,0	44,0	52,0	48,0	13,0	30,0	30,0	54,0	56,0	23,0	56,0	40,0	44,0	47,0	59,0	58,0	59,0	54,0	56,0	54,0	36,0	44,0	46,0	52,0	46,0	45,0	59,0	57,0	58,0	64,0	67,0	63,0	32,0	73,0	55,0	125,0	
Conductivité (µS/cm)	215,0	225,0	233,0	144,0	190,0	15,0	145,0	153,0	155,0	164,0	165,0	138,0	144,0	136,0	58,0	82,0	80,0	135,0	150,0	15,0	166,0	77,0	110,0	115,0	154,0	150,0	145,0	164,0	164,0	111,0		152,0	139,0	135,0	134,0	190,0	152,0	195,0	170,0	173,0	128,0	100,0	180,0	170,0	160,0		
Silice (Si O ₂) (mg/l)	1,1	1,6	1,8	0,5	0,9	0,9	2,2	1,3	1,3	3,7	3,6	3,0	3,8	3,5	1,4	2,0	2,0	0,8		1,8	0,6	1,6	1,0	0,9	1,0	1,2	1,2	0,5	0,4	0,4	1,9	1,5	1,5	1,8	2,5	2,5	0,5	1,6	1,6	4,1	4,5	4,3	1,4	1,2	2,0	3,4	
Calcium (mg/l)	34,0	37,5	37,5	23,8	30,0	30,0	22,6	23,0	23,2	28,2	28,0	21,7	25,0	22,8	7,9	12,9	12,1	22,5	25,0	11,0	25,5				24,5	25,0	24,8	26,9	26,6	26,7	17,5	24,0	24,9	21,7	20,5	19,9	30,0	30,0	30,0	26,4	28,5	27,0	13,7	33,0	23,2	31,5	
Carbone total (mg/l)	29,5	34,0	36,0	17,0	22,0	21,5	17,5	19,5	19,5	20,0	20,0	18,0	20,0	18,0	9,0	12,5	11,5	15,5	17,0	12,0	16,5	17,0	20,0	21,5	20,5	21,5	21,0	23,5	26,5	26,0	20,5	23,0	25,5	20,5	20,0	20,0	20,5	20,0	20,5	22,0	23,0	22,5	15,5	28,5	22,0	33,0	
Carbone inorganique (mg/l)	19,0	22,0	23,5	8,5	13,5	13,0	7,0	8,0	8,0	14,0	12,0	10,0	11,5	11,0	4,5	5,0	4,5	11,5	13,0	4,0	13,0	6,0	9,0	11,0	10,5	11,0	11,5	14,5	13,5	12,5	6,0	8,0	7,0	6,0	6,0	8,5	14,0	13,0	14,0	16,5	15,0	14,0	6,5	17,5	9,0	23,0	
Chlorure (mg/l)	6,9	7,3	7,4	3,4	6,5	6,5	3,5	5,4	5,5	4,6	4,8	5,2	3,7	4,3	2,9	2,1	2,7	4,5	4,6	3,5	4,7	2,0	3,6	3,9		4,6	4,8	4,8	5,3	5,3	5,2	3,2		5,0	4,6	4,9	4,9	5,0	5,5	5,5	5,0	4,8	5,0	3,1	8,6	4,5	5,8
Magnésium (mg/l)	2,9	2,9	2,9	2,5	2,7	2,7	2,3	2,4	2,3	1,9	1,8	1,5	1,9	1,7	0,5	1,1	1,1	1,8	1,8	1,0	1,9				2,3	2,2	2,1	2,3	2,2	2,2	1,6	2,0	2,0	2,0	1,9	2,2	2,2	2,2	2,2	2,1	1,3	2,6	1,9	2,4			
Potassium (mg/l)	2,0	2,1	2,3	1,1	2,0	2,0	1,1	1,6	1,6	1,0	1,2	1,6	0,9	1,1	0,7	0,8	1,1	1,2	1,1	0,9	1,1					1,4	1,4	1,4	2,0	1,8	2,2	1,3	1,5	1,5	1,2	1,4	1,4	1,1	1,1	1,1	1,4	1,1	1,4	0,7	2,4	1,1	1,4
Sodium (mg/l)	3,7	4,1	4,1	1,8	3,5	3,5	15,2	29,0	2,9	2,3	2,3	2,7	2,1	2,4	1,9	1,0	1,3	2,3	2,8	2,1	2,8					3,2	3,2	3,5	2,8	2,9	3,4	1,8	2,7	2,9	2,3	2,6	2,6	2,8	3,2	3,0	2,8	1,8	4,0	2,3	2,8		
Sulfate (mg/l)	14,5	9,5	20,0	6,3	9,0	10,4			17,5	15,0	16,2	14,3	14,0	13,6	8,3	7,4	8,2	10,5	11,3	8,0	11,5	8,0	10,2	11,5	11,5	12,3	12,2	16,4	16,3	16,2	14,3	18,9	20,0	16,8	17,5	17,0	25,0	27,0	24,0	16,1	17,1	18,0	10,6	20,0	15,1	18,5	
pH	7,7	7,6	7,3				8,2	7,4	7,5	7,3	6,5	6,3	7,0	7,1	6,5	6,8	6,6	7,5	7,4	6,7	7,3	7,3	7,1	7,1	7,9	7,5	7,5	6,8	7,1	7,1	7,7	7,6	7,7	8,3	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,8	7,4	7,4	7,1	6,6	7,6	7,9	7,3
Éléments nutritifs																																															
Azote ammoniacal (mg/l)	0,10	0,11	0,12	0,01	0,06	0,05	0,01	0,04	0,03	0,04	0,06	0,12	0,03	0,08	0,16	0,04	0,06	0,07	0,05	0,12	0,06				0,11	0,12	0,11	0,07	0,06	0,07	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,06	0,06	0,10	0,06	0,14	0,06	0,36	0,03	0,01
Azote Kjeldahl (mg/l)	0,39	0,43	0,55	0,23	0,55	0,43	0,14	0,33	0,31	0,13	0,22	0,18	0,10	0,23	0,29	0,19	0,20	0,32	0,27	0,29	0,25	0,25	0,33	0,35	0,48	0,52	0,42	0,46	0,47	0,39	0,13	0,30	0,22	0,17	0,21	0,23	0,22	0,16	0,13	0,17	0,11	0,26	0,18	0,76	0,20	0,14	
Orthophosphate (mg/l)																																															
Nitrate (NO ₃) (mg/l)																																															
Nitrite et nitrate (mg/l)	0,08	0,02	0,02	0,02	0,16	0,14	0,02	0,05	0,06	0,73	0,80	0,79	0,77	0,81	0,68	0,31	0,32	0,13	0,14	0,33	0,16				0,02	0,14	0,13	0,07	0,11	0,10	0,05	0,09	0,10	0,04	0,06	0,07	0,10	0,18	0,19	0,65	0,64	0,62	0,13	0,07	0,21	0,77	
Phosphore inorganique (mg/l)	0,009	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,012	0,006	0,006	0,009	0,018	0,009	0,018	0,006	0,033	0,006				0,006	0,006	0,006	0,012	0,012	0,009	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	
Phosphore total (mg/l)	0,015	0,024	0,036	0,009	0,015	0,009	0,006	0,015	0,018	0,009	0,027	0,024	0,006	0,018	0,024																																

ANNEXE 3

Qualité de l'eau de la rivière Bulstrode

ANNEXE 3
Qualité de l'eau de la rivière Bulstrode

PARAMÈTRES	STATIONS 3010016 (À 2,2 km en amont du pont-route de Victorlavoile)						STATIONS 3010012 (Au pont-route de St-Samuel-de-Horton)																						
	Dates d'échantillonnage	73/07/24	73/07/25	73/07/26	73/08/15	73/08/16	73/08/17	73/07/24	73/07/25	73/07/26	73/08/15	73/08/16	73/08/17	88/07/06	88/08/03	88/09/14	88/10/03	89/07/05	89/08/02	89/09/13	89/10/18	90/07/05	90/08/02	90/08/30	90/09/24	91/07/25	91/08/19	91/09/26	91/10/31
Azote ammoniacal (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0,02	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Azote total filtré (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,48	0,41	0,37	0,47	0,51	0,35	0,26	0,32	0,48	0,40	0,69	0,38	0,24	0,24	0,40	0,59
Carbone organique dissous (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,1	5,2	4,0	4,2	5,0	4,4	4,8	3,8	-	-	-	-	-	-	-	-
Chlorophylle A totale (mg/m ³)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,18	2,02	17,85	4,97	1,13	2,88	17,15	5,53
Coliformes fécaux (ba/100 ml)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	290,0	8000,0	680,0	1400,0	660,0	620,0	1500,0	78,0	108,0	135,0	3000,0	450,0	5200,0	340,0	510,0	48,0
Conductivité (µS/cm)	215,0	214,0	223,0	201,0	130,0	179,0	277,0	286,0	298,0	184,0	175,0	162,0	211,0	285,0	288,0	263,0	231,0	285,0	244,0	172,0	198,0	256,0	138,0	228,0	315,0	322,0	256,0	250,0	
Couleur vraie (hazen)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,0	20,0	15,0	13,0	20,0	17,0	19,0	12,0	21,0	21,0	120,0	13,0	12,0	15,0	17,0	22,0
Demande biochimique en oxygène (mg/kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,5	2,7	1,0	1,0	1,1	1,2	0,7	0,8	1,0	0,5	1,6	1,2	1,4	1,0	1,7	1,7
Nitrates et nitrites dissous (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22	0,18	0,38	0,18	0,00	0,09	0,18	0,32
Nitrites et nitrates (mg/l)	0,023	0,023	0,023	0,045	0,181	0,136	0,023	0,023	0,045	0,090	0,249	0,226	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Orthophosphates (mg/l)	0,007	0,007	0,007	0,007	0,046	0,013	0,007	0,007	0,007	0,013	0,143	0,049	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oxygène dissous (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,1	8,3	11,6	10,5	8,5	9,2	8,5	13,4	-	-	-	-	-	9,8	11,8	13,6
pH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,7	7,9	8,2	7,9	7,9	8,1	7,9	7,8	8,2	8,0	7,6	8,2	8,2	8,1	8,1	8,2
Phosphore dissous (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,010	0,010	0,030	0,020	0,010	0,135	0,020	0,010	-	0,010	0,045	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Phosphore particulaire total (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,024	0,042	0,010	0,016	0,014	0,009	0,009	0,012	0,015	0,012	0,012	0,015	0,011	0,020	0,033	0,011
Température (°C)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24,5	24,0	13,5	12,0	24,0	24,0	18,5	6,5	21,5	22,5	20,5	12,0	23,5	20,0	13,0	5,8
Turbidité (UNT)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,3	4,0	2,8	3,0	3,3	1,5	1,6	1,8	2,5	2,1	66,0	2,3	2,1	4,7	4,4	2,8

ANNEXE 4

**Drague hydraulique utilisée afin de minimiser
la remise en suspension des matériaux dragués**

Une excavatrice flottante

L'Amphibex, le nouveau rejeton québécois de la Watermaster

Johanne Rouleau

C'est à INTERMAT, en 1988, que Norman Grant a découvert la pièce d'équipement qu'il recherchait, le maillon manquant, celle qui pouvait faire le lien entre les travaux réalisés au bord des cours d'eau ou sur l'eau, c'est-à-dire partout où il est impossible d'atteindre un site à partir de la rive ou du large.

Norman Grant a été à l'emploi de Overseas Consultant Services, une firme de consultants pour laquelle il a agi à titre de conseiller en machinerie lourde de 1984 à 1987 et il sait que c'est là un problème fréquent. Il veut donc trouver une pièce d'équipement capable de faire ce lien. Il finit par la dénicher en Europe. Ce petit bijou est finlandais, mais il y a un hic : les frais de transport sont très élevés et les pièces pour ainsi dire impossibles à trouver en Amérique du Nord. M. Grant arrive tout de même à s'entendre avec les finlandais pour qu'ils diffèrent le paiement sur la précieuse machine, moyennant quoi il s'engage à développer le marché en Amérique du Nord. En 1989, il se porte enfin acquéreur de la Watermaster, une excavatrice flottante, unique en son genre, que l'on a surnommée au Québec «la grenouille verte».

Pour tester la machine, les Industries Normrock inc., travaillent toujours en sous-traitance pour le compte d'autres entrepreneurs. Ils ont ainsi réalisé différents types de travaux avec la grenouille verte. Ce sont eux qui par exemple ont, l'an passé, réalisé les nouvelles pistes de ski à Tremblant et effectué tous les travaux pour les équipements de neige artificielle. Cet hiver, ils ont même, avec la Watermaster, réussi à briser des glaces de 51 pouces d'épaisseur à Châteauguay.

En fabriquant une version québécoise de ce produit, M. Grant a développé un produit encore mieux adapté à la

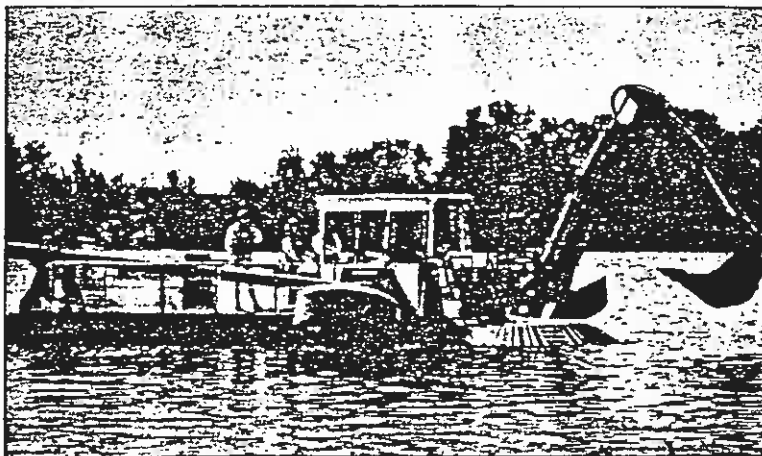
profondeur de nos cours d'eau et de notre contexte environnemental. Il a obtenu du financement du Bureau fédéral de développement régional (Québec), via le Programme d'aide à l'Innovation. Une contribution du Centre Saint-Laurent d'Environnement Canada et du Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec lui ont aussi permis d'atteindre le but qu'il s'était fixé.

Le projet a débuté à Terrebonne en 1992 et, le 9 juin dernier, Norman Grant et son équipe, 7 ou 8 personnes enthousiastes qui se sont dé-

surs ainsi la protection des habitats fauniques aquatiques et riverains. Elle est dotée d'innovations technologiques éprouvées sur le plan international pour une récupération efficace des matériaux contaminés présents dans les zones peu profondes ou exondées à marée basse, de même que les zones où la contamination est plus profonde, soit jusqu'à six mètres. C'est dire qu'elle augmente les possibilités d'intervention tant pour l'excavation que pour la disposition des matériaux en milieu littoral ou terrestre.

de demeurer en plan sur un chantier en attente de pièces ou de services qui tardent à arriver.

Une deuxième pièce d'équipement est déjà en train de prendre forme et Les Industries Normrock n'attendent plus que les commandes. En attendant, M. Grant et son équipe travailleront pour d'autres entrepreneurs. On pourra par exemple voir l'Amphibex à l'œuvre dès le début de juillet à Sherbrooke où elle servira à installer une conduite d'aqueduc de 20 pouces, en hyprescon, sous le lit de la rivière Saint-Fran-



La nouvelle excavatrice AMPHIBEX sera à l'œuvre sur différents chantiers de la province.

voûés corps et âmes depuis deux ans pour voir se concrétiser leur projet, mettaient à l'eau pour la première fois l'excavatrice Amphibex sur les rives de la rivière des Mille-Iles. Cette pièce de collection québécoise flotte, rampe, creuse, racle, pompe et drague sur l'eau, sur la terre ou sur la glace.

L'excavatrice de 25 tonnes, longue de 11 mètres, large de 3,5 mètres et haute de 3,2 mètres, a comme principales caractéristiques sa grande mobilité et sa performance pour le bris des glaces de rivière. Elle permet d'éviter le dynamitage des glaces et as-

Le prototype a coûté un demi-million de dollars, mais M. Grant estime qu'il pourra vendre son produit aux environs de 350 000 dollars, soit à un prix de base inférieur à celui de la pièce finlandaise. L'essentiel de la machine a été fabriqué à Terrebonne, sauf quand un manufacturier fournissait une composante tellement bonne qu'il eût été utopique de vouloir recréer un meilleur produit. En outre, toutes les composantes sont fournies par des manufacturiers québécois, canadiens ou nord-américains. Les propriétaires d'une Amphibex ne devraient donc pas craindre

pois pour les entrepreneurs Cormier et Lavalée. Un peu plus tard, en août, Nielson Excavation utilisera à son tour pour procéder à l'installation d'un émissaire sous la rivière Bell, à Senneterre.

Alors, si vous souhaitez voir l'AMPHIBEX à l'œuvre cet été, ouvrez l'œil et le bon car qui sait si, lors de vos nombreuses pérégrinations estivales, vous n'aurez pas la chance de voir l'insolite excavatrice «vert lime» se mouvoir habilement entre les herbes hautes des rives estuariennes ou flotter tranquillement sur la rivière abruennienne.

ANNEXE 5

Barge utilisée pour la récolte mécanique de plantes aquatiques

ANNEXE 5

Barge utilisée pour la récolte mécanique de plantes aquatiques.

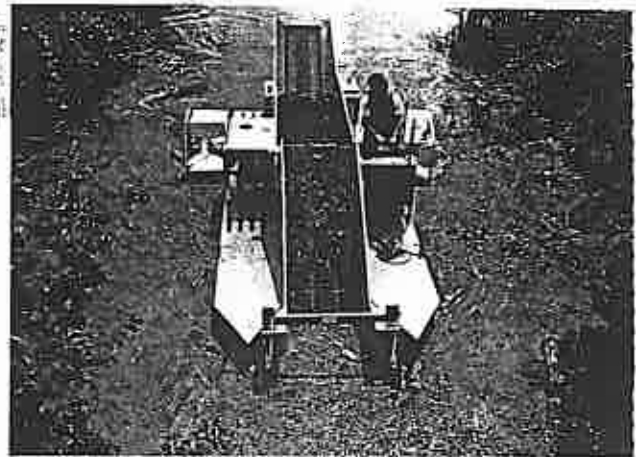


specially designed for use on smaller lakes, ponds and for selective weed harvesting in priority areas. Ease of launching/retrieving and road transportation allows sharing of specialized UMI equipment with neighboring lakes or associations.



The UMI MINI Plantharvester Model H4-1500 cuts a 48 inch swath, gathers, retrieves, stores and offloads aquatic vegetation with only one operator.

With a shallow draft of only 11 inches empty to 16 inches fully loaded, the UMI MINI Harvester is easily maneuvered in restricted and narrow waterways, close-in shallow shorelines, under low bridges and overhanging shoreline trees.



*UMI Mechanical Aquatic Harvesting Systems
1000 W. 10th St., Suite 100, St. Paul, MN 55102
(612) 291-1111*

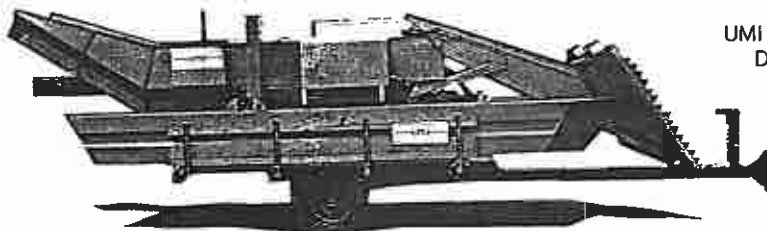
- Specially designed to deal with a wide variety of aquatic plants.
- Our proven Hydro-flo™ twin pontoon hulls provide greater safety, stability and efficiency.
- Unique flow-through design diminishes bow wave and traps plant cuttings, greatly minimizing fragmentation.
- All Hydraulic controls provide easy operation.
- Our harvesting cutter head with two vertical and one horizontal hydraulically-powered cutting bars cuts 48 inches wide and up to 52 inches deep.
- The UMI MINI is **Diesel Powered** for increased safety and reliability and is propelled by two independent, hydraulically driven, reversible **Paddle Wheels** for ease of maneuverability... especially in confined areas.
- **Double Duty Trailer** provides easy transporting, launch and retrieval, storage and off-loading of harvested plants and weeds, and storage of the UMI Plantharvester.

(additional information on back)

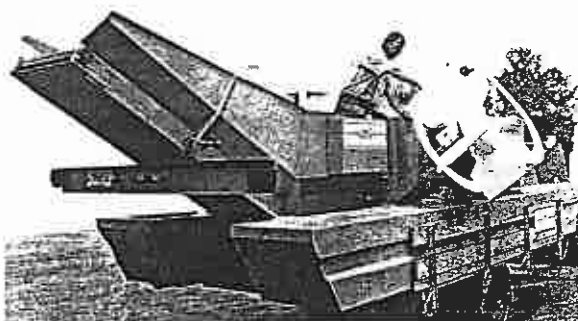
Let United Marine Prove It!

affordable & portable...

our New MINI Harvester combined with our Double Duty Trailer, lets you transport, launch and retrieve the harvester, and off-load and haul your weeds to disposal sites.

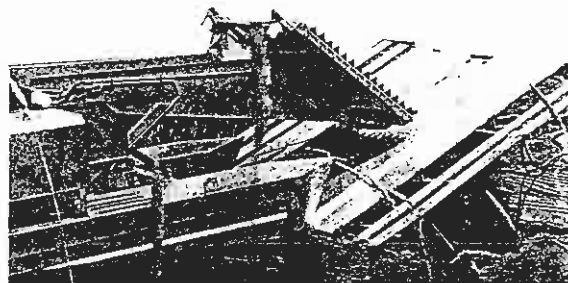


UMI DOUBLE DUTY
DT 120 TRAILER

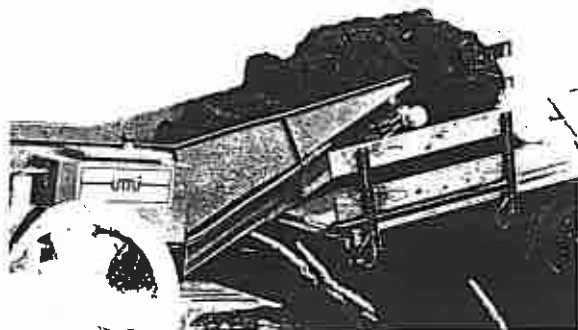


Launching and retrieval of equipment is assisted by the hydraulic winch and anti-friction poly strips on pivoted trailer bed with dump box.

Hinged Paddle Wheels are easily moved to their stored position on the harvester... allowing over-the-road transporting without permit requirements.



Fold down sides on trailer, provide double-duty use for off-loading of weeds from MINI conveyor and containment of harvest for hauling to disposal areas.



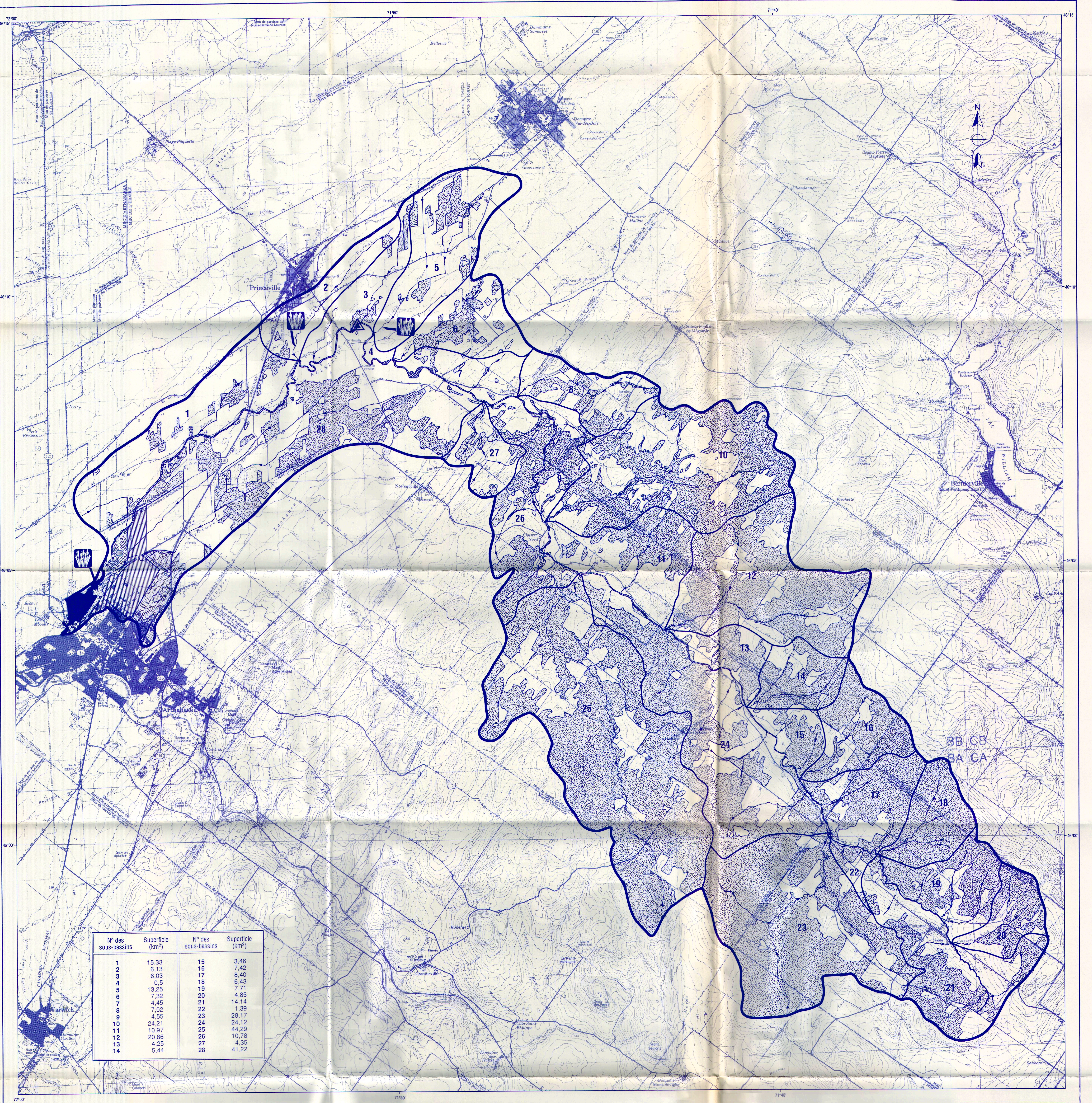
Other UMI Plantharvester models and complete Harvesting Systems are available to provide increased cutting and harvesting widths, and increased production capacities as required for individual applications. For detailed specifications and information, contact our headquarters.

umi
UNITED MARINE INTERNATIONAL INC.

AQUATIC PLANT HARVESTER SYSTEMS
OIL/DEBRIS RECOVERY MARINE SKIMMERS
SHORE & PIER CONVEYORS

ANNEXE 6

Zones considérées dans le calcul des volumes de sédiments à draguer



N° des sous-bassins	Superficie (km²)	N° des sous-bassins	Superficie (km²)
1	15,33	15	3,46
2	6,13	16	7,42
3	6,03	17	8,40
4	0,5	18	6,43
5	13,25	19	7,71
6	7,32	20	4,85
7	4,45	21	14,14
8	7,02	22	1,39
9	4,55	23	28,17
10	24,21	24	24,12
11	10,97	25	44,29
12	20,96	26	10,78
13	4,25	27	4,35
14	5,44	28	41,22

N° de projet : 17045
Date : mai 1995
Échelle 1 : 50 000
0 0,5 1,0 2,0 km

- Reservoir Beaudet, rivière Bulstrode
- Limite du bassin versant
- Limite des sous-bassins versants
- Écoulement des principaux tributaires de la rivière Bulstrode
- Point d'entrée des principaux canaux d'écoulement pluvial dans le réservoir Beaudet ou la rivière Bulstrode, à Victoriaville
- Zone de prélèvement occasionnel des matériaux meubles
- Site proposé pour la construction d'un marais épurateur

- Zone agricole
- Zone industrielle
- Zone résidentielle et/ou commerciale
- Zone forestière
- Parc ou espace vert

ÉTUDE DES PROBLÈMES LIÉS
AUX ALGUES ET AUX MACROPHYTES
DANS LE RÉSERVOIR BEAUDET

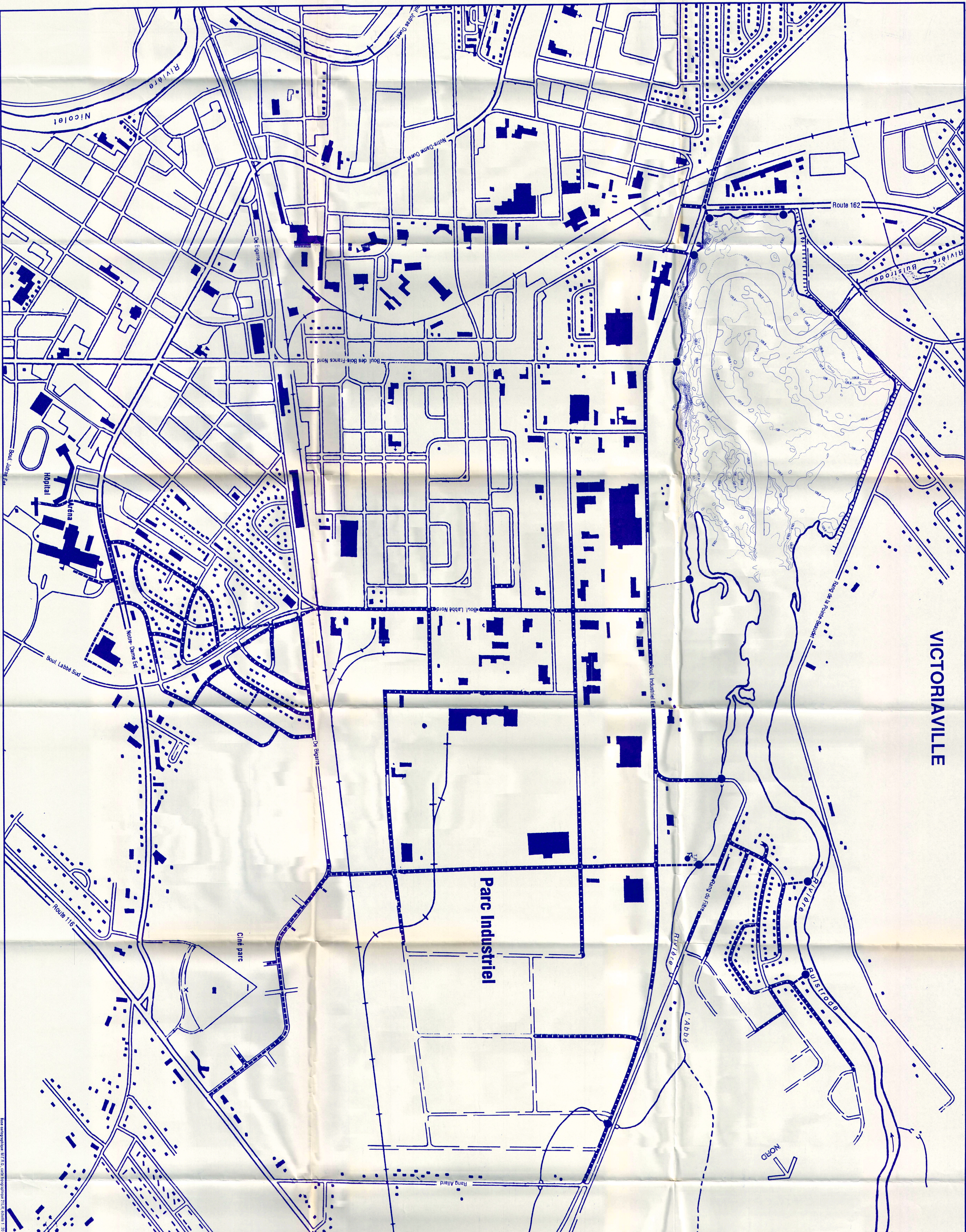
Utilisation du territoire
à l'intérieur du bassin versant
du réservoir Beaudet

VICTORIAVILLE

ÉTUDE DES PROBLÈMES LIÉS
AUX ALGUES ET AUX MACROPHYTES
DANS LE RÉSERVOIR BEAUBET

Relevés topographiques effectués
en 1974 avant la mise en eau
du réservoir Beaudet

- Réseau d'égout pluvial
- Point d'entrée du réseau d'égout pluvial
ou des canaux de drainage
- Trop-plein d'égout sanitaire
- Couures de niveau aux multiples de 0,6m
(conversion des relevés effectués en pieds)

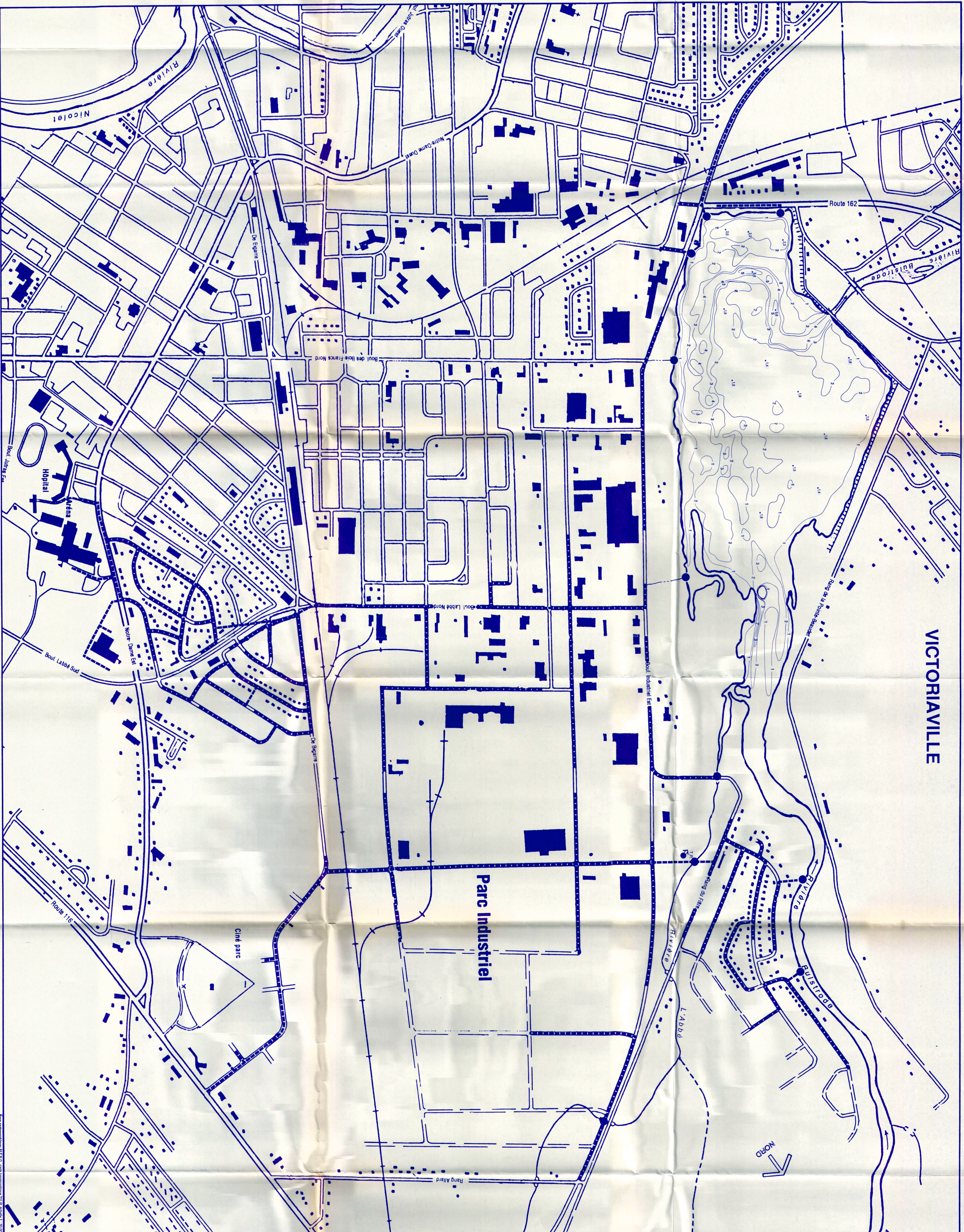


VICTORIAVILLE

ÉTUDE DES PROBLÈMES LIÉS AUX ALGUES ET AUX MACROPHYTES DANS LE RÉSERVOIR BEAUDET

Relevés bathymétriques du
réservoir Beaudet effectués par le
groupe Roche en décembre 1994

- Réseau d'égout pluvial
- Point d'entrée du réseau d'égout pluvial
ou des canaux de drainage
- Trop-plein d'égout sanitaire
- Isolantes (m)



Source: Normand, Jannet Inc., Plan de topographie no. 94-056-A, échelle 1 : 2000, 1994.

N° de projet : 17045
Date : mai 1995
Échelle 1 : 5 000

ROCHE

Carte 3

VICTORIAVILLE

ÉTUDE DES PROBLÈMES LIÉS AUX ALGUES ET AUX MACROPHYTES DANS LE RÉSERVOIR BEAUDET

Zones de prolifération
des plantes aquatiques

- Niveau d'égout municipal
- Point d'entrée du réseau d'égout municipal ou des canaux de drainage
- Trop-plein d'égout sanitaire
- Prise d'eau
- Site d'échantillonnage des sédiments (rochne, 1995)

- Zones de prolifération de plantes aquatiques
 - de forte densité
 - de densité moyenne

Source: M. R. N. O., photo aérienne, échelle 1 : 15 000, août 1991

VICTORIAVILLE

ÉTUDE DES PROBLÈMES LIÉS AUX ALGUES ET AUX MACROPHYTES DANS LE RÉSERVOIR BEAUDET

Différences existant entre les
relevés bathymétriques effectués au
réservoir Beaudet en décembre 1994
et les relevés topographiques
effectués en 1974

- Réseau d'égout pluvial
- Point d'entrée du réseau d'égout pluvial
ou des canaux de drainage
- Trop-plein d'égout sanitaire
- Zone moins profonde qu'en 1974
- Zone plus profonde qu'en 1974
- Zone où aucun relevé topographique
n'a été effectué en 1974
- Différence de niveau (en mètre),
observée entre les relevés effectués
en 1994 et ceux effectués en 1974
- Site d'échantillonnage des sédiments
- Site proposé pour la construction d'un marais épurateur

