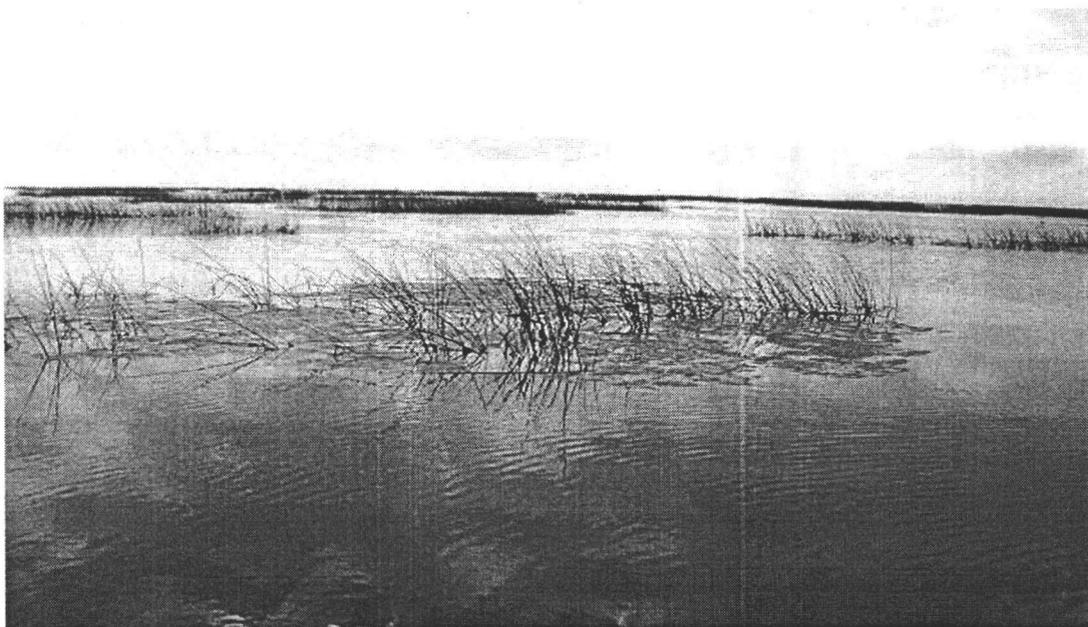


PROGRAMME DE SUIVI DE L'ÉTAT DU SAINT-LAURENT

RAPPORT DE RECHERCHE



ÉVALUATION DE L'ÉTAT DES DONNÉES SUR LES MACROINVERTÉBRÉS BENTHIQUES DU FLEUVE SAINT- LAURENT ET DE SES TRIBUTAIRES POUR UNE APPLICATION D'UN MODÈLE DE SUIVI ENVIRONNEMENTAL AVEC L'APPROCHE DES CONDITIONS DE RÉFÉRENCE (CABIN)

Par

Bernadette Pinel-Alloul, Ginette Méthot, Daniel Borcard

**Département de Sciences biologiques, GRIL
Université de Montréal**

Pour

**Centre Saint-Laurent
Environnement Canada**

Mars 2004

	Page
1. Contexte et problématique	5
2. Mandat et objectifs du contrat de recherche	7
3. Méthodologie	8
3.1 Couverture géographique	8
3.2 Intégration des banques de données	9
3.2.1 Fleuve Saint-Laurent	9
3.2.2 Tributaires du fleuve Saint-Laurent	13
3.3 Fiches d'analyses pour le bassin du fleuve Saint-Laurent	16
3.3.1 Habitat	17
3.3.2 Macrobenthos	20
3.3.3 Qualité des bases de données et statistiques	22
4. Évaluation de la pertinence des banques de données sur le fleuve Saint-Laurent et ses tributaires	24
4.1 Critères d'évaluation	24
4.2 Évaluation des bases de données du fleuve Saint-Laurent	26
4.3 Évaluation des bases de données sur les tributaires	31
4.4 Application d'un modèle CABIN à partir des bases de données existantes	36
5. Proposition d'une stratégie d'échantillonnage conforme aux exigences du modèle CABIN	37
5.1 Principes généraux pour établir un modèle CABIN	38
5.2 Application dans le contexte du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires	41
5.3 CABIN: un modèle qui doit évoluer	46
6. Recommandations générales	48
6.1 Utilisation des bases de données existantes sur le macrobenthos du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires	48
6.2 Stratégie d'échantillonnage	50
Remerciements	54
Références	55

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1: Liste des études recensées comprenant des données sur la macrofaune benthique du bassin du fleuve Saint-Laurent au Québec par ordre des plus récentes aux plus anciennes.	8
Tableau 2: Liste des études recensées comprenant des données sur la macrofaune benthique des tributaires du fleuve Saint-Laurent au Québec par ordre des plus récentes aux plus anciennes.	14
Tableau 3: Liste des descripteurs de l'habitat utilisés pour établir les fiches d'analyses des bases de données pour le fleuve Saint-Laurent et ses tributaires en se basant sur les caractéristiques de l'habitat du modèle CABIN.	18
Tableau 4: Liste des descripteurs du macrobenthos utilisés pour établir les fiches d'analyses des bases de données pour le fleuve Saint-Laurent et ses tributaires en se basant sur les caractéristiques de la structure du macrobenthos du modèle CABIN.	21
Tableau 5: Critères d'analyse de la qualité des banques de données et des statistiques de chaque étude en vue d'évaluer leur pertinence pour construire un modèle de réseau de biosurveillance du macrobenthos dans le fleuve Saint-Laurent et ses tributaires en se basant sur les caractéristiques du modèle CABIN.	23
Tableau 6: Évaluation générale de l'utilité des banques de données sur le macrobenthos du fleuve Saint-Laurent pour bâtir un modèle de biosurveillance selon l'approche par conditions de référence (CABIN).	26
Tableau 7: Évaluation générale de l'utilité des banques de données sur le macrobenthos des tributaires du fleuve Saint-Laurent pour bâtir un modèle de biosurveillance selon l'approche par conditions de référence (CABIN).	31
Tableau 8 : Critères utilisés pour la sélection des sites de référence dans les cours d'eau en Europe du nord (European Water Framework Directive) (Nijboer et al., 2004)	39
Tableau 9: Variables environnementales utiles pour la modélisation du macrobenthos dans d'autres modèles CABIN.	45

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1: Fiches d'analyse de chaque banque de données sur le macrobenthos du fleuve Saint-Laurent.
- Annexe 2: Fiches d'analyse de chaque banque de données sur le macrobenthos des tributaires du fleuve Saint-Laurent.
- Annexe 3 : Liste des publications principales et connexes citées dans les annexes

1- Contexte et problématique de recherche

Dans le cadre de la programmation scientifique 2003-2008 du Centre Saint-Laurent, le programme de *Suivi de l'état du Saint-Laurent* (PSÉSL, février 2003) vise à établir les conditions de référence des principales composantes de l'écosystème du fleuve Saint-Laurent, incluant ses tributaires, afin d'en suivre les changements à long terme à l'aide d'indicateurs environnementaux (Centre Saint-Laurent, 2003).

Parmi les composantes biologiques des milieux aquatiques, *la macrofaune benthique* est couramment utilisée comme indicateur de l'état et l'évolution de la qualité des sédiments des lacs et des cours d'eau (Rosenberg et Resh, 1993). Le *modèle CABIN* (Canadian Aquatic Biomonitoring Network) basé sur *l'Approche par conditions de référence* a été récemment développé à l'institut national de recherche sur les eaux (INRE) (Reynoldson *et al.*, 1997; Bailey *et al.*, 2004). Ce modèle se base sur le développement d'une banque de données sur les assemblages macrobenthiques dans des sites peu ou pas perturbés couvrant une large gamme d'habitats écologiques. Il permet d'établir, à l'aide d'un modèle multidimensionnel, les assemblages macrobenthiques caractéristiques des divers habitats et d'estimer ensuite l'écart entre la structure du macrobenthos dans ces conditions de référence et celle observée dans des sites perturbés par l'urbanisation, l'agriculture, la coupe forestière ou l'activité minière (Reynoldson *et al.*, 2001). Ce modèle s'est avéré un bon outil pour suivre l'état du macrobenthos aquatique dans le bassin des Grands Lacs en Ontario (Reynoldson *et al.*, 2000) et dans le fleuve Fraser en Colombie Britannique (Rosenberg *et al.*, 2000). Un modèle CABIN, actuellement en élaboration pour les rivières de l'Ontario, devrait être fonctionnel en 2005. Environnement Canada entend se doter d'un réseau de suivi du macrobenthos à l'échelle nationale basé sur l'approche par conditions de référence. Dans ce contexte, l'objectif premier de la présente étude est de colliger les banques de données existantes sur la structure et les assemblages de macrobenthos dans le bassin du fleuve Saint-Laurent, afin d'évaluer leur utilité pour définir un modèle de suivi environnemental avec conditions de référence (CABIN). En priorité, on veut évaluer si la qualité des bases de données est suffisante pour établir l'état actuel du macrobenthos dans le fleuve Saint-Laurent et ses tributaires et en évaluer les changements à long terme vis-à-vis des principaux stress environnementaux tels que la contamination chimique et organique, le

remblayage et le dragage, les activités forestières et agricoles, et les variations de niveau d'eau liées aux aménagements de la voie maritime et aux changements climatiques. L'objectif à long terme est de définir un programme de suivi environnemental de la qualité des sédiments basé sur les assemblages de macrobenthos dans les habitats représentatifs des masses d'eau et des zones biogéographiques du Saint-Laurent. Dans le cadre de ce rapport, nous ne présentons que les principes généraux et les recommandations préliminaires pertinents pour l'élaboration future de cette stratégie d'échantillonnage du macrobenthos dans le fleuve Saint-Laurent.

Le fleuve Saint-Laurent, caractérisé par un corridor fluvial entrecoupé de lacs fluviaux de faible profondeur, est essentiellement un système benthique encore peu étudié. Actuellement, il n'existe pas de connaissances intégrées aptes à fournir un tableau précis de la structure du macrobenthos dans divers habitats de référence dans le fleuve Saint-Laurent et ses tributaires. Bien que plusieurs projets sur la macrofaune benthique aient été réalisés depuis les années 1970, il n'y a pas eu d'intégration et d'évaluation des bases de données. Plusieurs études dans le cadre du suivi des effets sur l'environnement aquatique des effluents des fabriques de pâtes et papiers (ÉSEE), du réseau de surveillance des rivières du ministère de l'Environnement du Québec (MENV), du programme Archipel de la Société Faune et Parcs du Québec, et de diverses recherches universitaires (Univ. de Montréal, UQAM, Univ. McGill, UQTR, etc.) ont récolté des données sur la macrofaune du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires. Ces banques de données représentent une source d'information importante sur la structure du macrobenthos dans des sites ayant des niveaux de perturbations anthropiques variables (peu ou pas perturbés à très perturbés). Toutefois, l'intégration de ces banques de données et l'évaluation de leur validité pour appliquer un modèle avec conditions de référence n'a pas été faite. Dans le cadre de cette étude, nous intégrerons les connaissances historiques et actuelles sur la macrofaune benthique du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires afin d'évaluer si elles peuvent être utiles pour définir les caractéristiques de cette communauté dans les habitats types du bassin du fleuve Saint-Laurent. Les études recensées portent exclusivement sur les assemblages ou communautés benthiques; celles portant sur une ou plusieurs populations spécifiques n'ont pas été retenues pour cette étude.

Pour permettre l'implantation d'un suivi de type CABIN dans le bassin du fleuve Saint-Laurent, la première étape est de vérifier, par exemple, s'il existe des données en provenance de

sites naturels non perturbés sur une vaste gamme de milieux couvrant les différents bassins hydrographiques des principaux tributaires et les zones biogéographiques du fleuve (tronçon fluvial, lacs fluviaux, zones de rapides, zones littorales, estuaire fluvial, etc.), permettant d'établir les conditions de référence aux niveaux régional et local. La deuxième étape est de valider la qualité des données, à savoir si le niveau de résolution taxinomique, la réplication et la période d'échantillonnage sont compatibles avec les exigences taxinomiques et statistiques requises pour l'application d'un modèle multidimensionnel sur la macrofaune benthique. Ainsi, Reynoldson *et al.* (2001) ont montré qu'un modèle basé sur l'identification taxinomique au niveau de la famille est suffisant tandis que Reece *et al.* (2001) recommandent que les échantillons soient récoltés à l'automne afin de minimiser l'effet des changements saisonniers. L'étape finale de l'analyse des données existantes est de définir les bases générales d'un plan d'échantillonnage de la macrofaune benthique dans le fleuve Saint-Laurent et ses tributaires.

2- Mandat et objectifs du contrat de recherche

Le mandat général du projet de recherche est *1)* de colliger et analyser le contenu des banques de données sur le macrobenthos du bassin du fleuve Saint-Laurent, *2)* d'évaluer leur potentiel d'utilisation pour établir un modèle de suivi environnemental basé sur des conditions de référence (CABIN) et *3)* d'élaborer un cadre de référence pour un réseau de surveillance du macrobenthos aquatique du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires.

Le projet de recherche proposé vise les objectifs spécifiques suivants :

- 1 Colliger et analyser les banques de données existantes sur la macrofaune benthique du fleuve et de ses tributaires en collaboration avec les partenaires au Centre Saint-Laurent, du ministère de l'Environnement du Québec, d'Environnement Canada et de la Société Faune et Parcs du Québec.*

- 2 Évaluer leur valeur et leur limite pour l'application d'un modèle de suivi environnemental avec conditions de référence dans le fleuve Saint-Laurent et ses tributaires.*

3 Établir les bases générales d'un réseau de surveillance du macrobenthos dans le fleuve Saint-Laurent et ses tributaires dans le but final de l'application d'un modèle avec conditions de référence.

Le travail a été réalisé par une équipe de chercheurs du Département de sciences biologiques de l'Université de Montréal (GRIL, Groupe de Recherche Interuniversitaire en Limnologie et en Environnement Aquatique), en concertation avec les partenaires à Environnement Canada (Centre Saint-Laurent, Direction de la protection de l'environnement), au ministère de l'Environnement du Québec (MENV) et à la Société Faune et Parcs du Québec. Un premier atelier de concertation avec les partenaires a été organisé au début du projet pour établir la liste des banques de données disponibles. Nous présentons dans ce rapport les résultats de l'analyse des banques de données sur le bassin du Saint-Laurent (fleuve et tributaires), 2) les conclusions concernant leur valeur et leur limite pour l'application d'un modèle CABIN sur le macrobenthos dans le fleuve Saint-Laurent et ses tributaires. Finalement, nous discutons des principes généraux et donnons des recommandations pour établir une stratégie d'échantillonnage du macrobenthos avec conditions de référence dans le bassin du fleuve Saint-Laurent. Ces recommandations ont été présentées et discutées lors d'un deuxième atelier de concertation entre les chercheurs du GRIL et leurs partenaires du Centre Saint-Laurent et du MENV.

3- Méthodologie

3.1. Couverture géographique

Dans le cadre de l'étude, nous avons couvert le bassin du fleuve Saint-Laurent et ses tributaires sur la rive nord et la rive sud entre Cornwall et Montmagny (voir cartes 1 et 2).

Les études sur le fleuve Saint-laurent se situent dans l'écorégion des Basses Terres du Saint-Laurent (N° 132) et les écodistricts de la région de Montréal (N ° 541) et du lac Saint-Pierre (N° 540) (tableau 1). Elles couvrent les régions biogéographiques 1 à 6 du fleuve Saint-Laurent (Ghaminé *et al.*, 1990), soit depuis la rivière des Outaouais et le lac des deux Montagnes, la

rivière des Praires et la rivière des Mille-îles au nord de l'archipel de Montréal (régions 1-3), le fleuve de Cornwall au bassin Laprairie, incluant le lac Saint-François et le lac Saint-Louis (région 2), le couloir fluvial de Saint-Lambert à Sorel (région 3), le lac Saint-Pierre (région 4), le fleuve de l'exutoire du lac Saint-Pierre à Québec (région 5) et le fleuve en aval de Québec jusqu'à l'île d'Orléans (région 6) (voir carte 1).

Les études sur les tributaires se situent dans les écorégions du Sud des Laurentides (N° 99), des Appalaches (N° 117) et des Basses Terres du Saint-Laurent (N° 132), incluant les écodistricts 418-419, 424-426, 482-483 et 540-541. Au total, les bases de données portent sur 6 tributaires de la rive nord (rivières des Outaouais, du Nord, l'Assomption, Saint-Maurice, Sainte-Anne, Jacques Cartier) et 6 tributaires de la rive sud (rivières Chateaugay, Richelieu, Yamaska, Saint-François, Nicolet, Chaudière) (voir carte 2)

3.2. Intégration des banques de données

3.2.1. Fleuve Saint-Laurent

Le tableau 1 présente la liste des études portant sur les communautés benthiques du fleuve Saint-Laurent par ordre d'ancienneté des plus récentes aux plus anciennes. Nous avons recensé des données récentes datant de 1991 à 2003, des données en provenance des études faites de 1980 à 1990 et des données historiques antérieures à 1980. Au total, nous avons colligé et évalué les bases de données en provenance de 39 études. Les sources de données sont surtout gouvernementales et proviennent des études réalisées par Environnement Canada (cycles 1 et 2 du programme ÉSEE) et le ministère de l'Environnement du Québec (MENV) (programme Archipel,) depuis les deux dernières décennies. Les données historiques proviennent surtout des études réalisées de 1970 à 1980 par le Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent et des recherches universitaires (projet Thermopol sur le lac Saint-Pierre à l'université du Québec à Trois-Rivières; projets de l'École Polytechnique de Université de Montréal et du laboratoire de Limnologie à l'Université de Montréal). Les études les plus récentes (depuis 2000) proviennent surtout du cycle 2 du programme ÉSEE et de quelques recherches universitaires en cours à l'université de Montréal et à l'UQAM.

Carte 1

**Localisation géographique des études
sur le macrobenthos du Fleuve Saint-Laurent.**

Au niveau du couloir fluvial, les études sur les assemblages de macrobenthos incluent des données historiques en provenance du Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent du MENV (Demers et Levasseur, 1976; Levasseur, 1977) et du Groupe de travail Québec-Canada (Beak, 1973; Eco-recherches, 1974). De 1980 à 1990, les chercheurs en écologie aquatique de l'Université du Québec à Trois-Rivières ont concentré leurs études sur le tronçon fluvial à l'aval du lac Saint-Pierre (de Pointe du lac jusqu'à Québec) dans le cadre du suivi écologique à l'aval de l'effluent de la centrale nucléaire de Gentilly (Vincent, 1979 et 1981; Vincent et Vaillancourt, 1978; Vincent *et al.*, 1982, 1983; Vaillancourt et Laferrière, 1983; Laferrière et Vaillancourt, 1984). Récemment, d'autres études ont été réalisées dans le cadre du programme ÉSEE dans le couloir fluvial au niveau de l'effluent de la fabrique de produits forestiers Alliance Donacona (Comité aviseur 1996, 2000) et dans le cadre de projets de maîtrise sur les invertébrés colonisant les bouées de navigation de la voie maritime du Saint-Laurent (Mercier, 1998 : Univ. Ottawa) et sur les invertébrés des berges de la rive nord du fleuve entre l'émissaire de l'Île aux Vaches et Sorel (deBryun, 2001 : Univ. McGill).

Au niveau des lacs fluviaux, les données historiques portent sur la faune benthique du lac Saint-Louis (Magnin, 1970). Une vaste étude sur la macrofaune d'eau libre et des herbiers des lacs fluviaux du fleuve Saint-Laurent a été faite en 1982-83 dans le cadre du projet Archipel (Gravel et Dubé, 1983; Ferraris, 1984). À l'École Polytechnique (Univ. Montréal), on a évalué la contamination métallique chez le macrobenthos de la région de Beauharnois incluant le lac Saint-François, le canal de Beauharnois et le lac Saint-Louis (Messier, 1981; Delisle *et al.*, 1981). Au cours de la dernière décennie, plusieurs études du programme ÉSEE sur les effluents de pâtes et papiers ont été réalisées dans le lac Saint-Louis (Domtar; Spexel : Comités aviseurs 1996, 2000) et à la sortie du lac Saint-Pierre à Cap-de-la-Madeleine et Trois-Rivières (Papiers Cascade Lupel et désencrage CMD Inc., Tripac Inc., Kruger Inc., Kruger Wayagamack : comités aviseurs 1997, 2001). Le Centre Saint-Laurent a commandité d'autres études sur la macrofaune benthique dans le lac Saint-François et le lac Saint-Louis (Pinel-Alloul *et al.*, 1991; 1996; Jacquaz, 1995; Willsie et Costan, 1996; Bombardier et Blaise, 2000). Finalement, des études ont été réalisées récemment sur la macrofaune associée aux herbiers littoraux du lac Saint-Pierre dans le cadre d'une maîtrise (Tessier, 2003: Univ. de Montréal) et d'un doctorat (Cremona, 2003 : UQAM).

Au niveau de l'embouchure des tributaires dans le fleuve Saint-Laurent, des données historiques existent sur la Rivière des Prairies et la Rivière des Mille-îles (Lagacé *et al.*, 1977; Vaillancourt, 1968).

Pour plusieurs de ces études, nous avons récupéré les données de dénombrement des organismes benthiques soit sous forme informatisées (14 études) ou sous forme manuscrite (8 études). Par contre, pour certaines études, principalement celles publiées dans les articles scientifiques, les données brutes ne sont pas disponibles et nous ne disposons que de données moyennes ou sous forme de fréquence relative. De plus, certaines études non citées dans ce rapport n'ont pu être consultées pour cause d'entente dans le cadre de contrats de recherche empêchant la diffusion des résultats.

Tableau 1. Liste des études recensées comprenant des données sur la macrofaune benthique du bassin du fleuve Saint-Laurent au Québec par ordre des plus récentes aux plus anciennes. Données sur les macroinvertébrés manuscrites (m), informatisées (i) ou non disponibles (nd)

Périodes d'étude	Situation géographique	Sites	Sources	Références Types de données
2003-	Écorégion 132 Écodistrict 540 Région biogéographique 4	Lac Saint-Pierre	Ph.D., UQAM Labo. D. Planas	Cremona nd En cours
2000-2001	Écorégion 132 Écodistrict 541 Région biogéographique 4	Lac Saint-Pierre	M.Sc., UdeM Labo. A. Cattaneo B. Pinel-Alloul	Tessier, 2003 ⁱ
2000-2001 cycle 2	Écorégion 132 Écodistrict 540 Région biogéographique 4	Fleuve, aval Lac Saint-Pierre Tripap Inc.	Programme ÉSEE	Comité aviseur 2001a ⁱ
2000-2001 cycle 2	Écorégion 132 Écodistrict 540 Région biogéographique 4	Fleuve, aval Lac Saint-Pierre Cascade Lupel Désancrage CMD	Programme ÉSEE	Comité aviseur 2001b ⁱ
2000-2001 cycle 2	Écorégion 132 Écodistrict 540 Région biogéographique 4	Fleuve, aval Lac Saint-Pierre Kruger Inc.	Programme ÉSEE	Comité aviseur 2001c nd
2000-2001 cycle 2	Écorégion 132 Écodistrict 540 Région biogéographique 4	Fleuve, aval Lac Saint-Pierre Kruger- Wayagamack	Programme ÉSEE	Comité aviseur 2001d nd
2000-2001 cycle 2	Écorégion 132 Écodistrict 541 Région biogéographique 2	Lac Saint-Louis Beauharnois Spexel Inc.	Programme ÉSEE	Comité aviseur 2000a ⁱ

2000-2001 cycle 2	Écorégion 132 Écodistrict 540 Région biogéographique 5	Couloir fluvial amont Québec Alliance Donacona	Programme ÉSEE	Comité aviseur 2000b ⁱ
2000	Écorégion 132 Écodistrict 540 Région biogéographique 3	Fleuve, rive nord St-Lambert-Sorel	Ph.D., McGill Labo. J. Rasmussen	deBruyn, 2001 ⁱ
1995-1996	Écorégion 132 Écodistrict 540 Région biogéographique 2	Lac Saint-François Lac Saint-Louis	Centre St-Laurent Environnement	Bombardier et Blaise, 2000 nd
1997-1998	Écorégion 132 Écodistrict 540 Région biogéographique 1-3	Archipel de Montréal	M.Sc., U. Ottawa Labo. A. Morin	Mercier, 1998 ^m
1996-1997 cycle 1	Écorégion 132 Écodistrict 540 Région biogéographique 4	Fleuve, aval Lac Saint-Pierre Cascade Lupel Désancrage CMD	Programme ÉSEE	Comité aviseur 1997a ⁱ
1996-1997 cycle 1	Écorégion 132 Écodistrict 540 Région biogéographique 4	Fleuve, aval Lac Saint-Pierre Tripap Inc.	Programme ÉSEE	Comité aviseur 1997b ⁱ
1996-1997 cycle 1	Écorégion 132 Écodistrict 540 Région biogéographique 4	Fleuve, aval Lac Saint-Pierre Kruger Inc.	Programme ÉSEE	Comité aviseur 1997c ⁱ
1996-1997 cycle 1	Écorégion 132 Écodistrict 540 Région biogéographique 4	Fleuve, aval Lac Saint-Pierre Kruger- Wayagamack	Programme ÉSEE	Comité aviseur 1997d ⁱ
1996-1997 cycle 1	Écorégion 132 Écodistrict 541 Région biogéographique 2	Lac Saint-Louis Beauharnois Domtar	Programme ÉSEE	Comité aviseur 1996a ⁱ
1996-1997 cycle 1	Écorégion 132 Écodistrict 540 Région biogéographique 5	Couloir fluvial Amont Québec Bowater Donacona	Programme ÉSEE	Comité aviseur 1996b ⁱ
1991	Écorégion 132 Écodistrict 541 Région biogéographique 2	Lac Saint-Louis	Centre St-Laurent Environnement	Jacquaz, 1995 ^m Willsie et Costan, 1996
1989	Écorégion 132 Écodistrict 541 Région biogéographique 2	Lac Saint-François	Centre St-Laurent Environnement	Pinel-Alloul <i>et al.</i> 1991 ⁱ , 1996
1982-1984	Écorégion 132 Écodistrict 541 Région biogéographique 1, 2 et 3	Archipel de Montréal Fleuve, rivières 2 lacs fluviaux	Programme Archipel	Ferraris, 1984 ⁱ Gravel et Dubé, 1983
1978	Écorégion 132 Écodistrict 541 Région biogéographique 2	Lac Saint-François, Canal Beauharnois, Lac Saint-Louis	M.Sc, U de M, École Polytechnique, Labo C. Delisle	Messier, 1981 ^m Delisle <i>et al.</i> , 1981
1978-1983	Écorégion 132 Écodistrict 540 Région biogéographique 5	Fleuve, aval Lac Saint-Pierre	Projet Thermopol Hydro-Québec UQTR	Vincent, 1979 ^m Vincent, 1981 nd Vincent et Vaillancourt, 1978 nd Vincent <i>et al.</i> , 1982 nd , 1983 nd Vaillancourt et Laferrière 1983 ^m Laferrière et Vaillancourt 1984 nd

Avant 1977	Écorégion 132 Écodistricts 541 Région biogéographique 1, 2 et 3	Lac des deux- Montagnes Rivières des Prairie Rivière des Mille- îles	MLCP MENV	Lagacé <i>et al.</i> 1977 ^m Vaillancourt, 1968 nd
Avant 1977	Écorégion 132 Écodistricts 540 et 541 Région biogéographique 1- 5	Fleuve Cornwall- Montmagny	Comité d'étude sur le fleuve MENV	Levasseur, 1977 ^m Demers et Levasseur, 1976 nd
Avant 1977	Écorégion 132 Écodistricts 540 et 541 Région biogéographique 1- 6	Fleuve Cornwall- Montmagny	Éco-Recherches Groupe Québec- Canada	Éco-recherches, 1974 ^m
Avant 1977	Écorégion 132 Écodistrict 540 et 541 Région biogéographique 1- 6	Archipel de Montréal et exutoire du lac Saint-Pierre	Beak Consultants Groupe Québec- Canada	Beak, 1973 nd
Avant 1977	Écorégion 132 Écodistrict 541 Région biogéographique 2	Lac Saint-Louis	Labo E. Magnin UdeM	Magnin, 1970 ^m

3.2.2. Tributaires du fleuve Saint-Laurent

Le tableau 2 présente la liste des études sur la faune benthique des tributaires du fleuve Saint-Laurent. Nous avons recensé des données datant de 1979 à 2002 en provenance de 35 études. La plupart des bases de données proviennent des programmes de suivi des rivières du MENV (1994-2002), ainsi que des cycles 1 et 2 du programme de surveillance de effluents des usines de pâte et papier (ÉSEE : 1997-2001).

Sur la rive nord, les études sur le macrobenthos incluent des données sur les rivières des Outaouais (cycle 1 : Comité aviseur, 1996c, 1997 g-i; cycle 2 : Comité aviseur, 2001 e-h), du Nord (cycle 1 : Comité aviseur, 1997p; cycle 2 : Comité aviseur, 2000g), de l'Assomption (MENV : St-Onge et Richard, 1994), Saint-Maurice (cycle 1 : Comité aviseur, 1997 f, j, k; cycle 2 : Comité aviseur, 2001 i-j; MENV: Pelletier, 2002), Sainte-Anne (MLCP: Dubé, 1981; MENV, 1989; cycle 1 : Comité aviseur, 1997 m et o; cycle 2 : Comité aviseur, 2000 d et f), et Jacques Cartier (cycle 1 : Comité aviseur, 1997e).

Sur la rive sud, les études sur le macrobenthos incluent des données sur les rivières Chateaugay (MENV: St-Onge, 1996), Richelieu (MENV: Piché, 1998), Yamaska (MENV : St-Onge, 1999), Saint-François (cycle 2 : Comité aviseur, 2000h), Nicolet (cycle 1 : Comité aviseur, 1997n; cycle 2 : Comité aviseur, 2000e), et Chaudière (cycle 1 : Comité aviseur. 1997l; MENV : Pelletier et St-Onge, 1998; cycle 2 : Comité aviseur, 2000c).

Tableau 2. Liste des études recensées comprenant des données sur la macrofaune benthique des tributaires du fleuve Saint-Laurent au Québec par ordre des plus récentes aux plus anciennes. Données sur les macroinvertébrés manuscrites (m), informatisées (i) ou non disponibles (nd)

Périodes d'étude	Situation géographique	Sites	Sources	Références
1996	Écorégions 99 et 132 Écodistricts 419, 424, 540 Tributaire 05	Saint-Maurice	MENV	Pelletier, 2002 ⁱ
1999 cycle 2	Écorégion 99 Écodistrict 425 Tributaire 04	Outaouais Bowater Gatineau	Programme ÉSEE	Comité aviseur 2001e ⁱ
1999 cycle 2	Écorégion 99 Écodistrict 425 Tributaire 04	Outaouais Papiers EDDY Domtar, Hull	Programme ÉSEE	Comité aviseur 2001f ⁱ
1998 cycle 2	Écorégion 99 Écodistrict 425 Tributaire 04	Outaouais MacLaren Thurso	Programme ÉSEE	Comité aviseur 2001g ⁱ
1999 cycle 2	Écorégion 99 Écodistrict 425 Tributaire 04	Outaouais Smurfit Stone Portage-du-Fort	Programme ÉSEE	Comité aviseur 2001h ⁱ
1999 cycle 2	Écorégion 99 Écodistrict 424 Tributaire 05	Saint-Maurice (R. Shawinigan) Abitibi div. Bergo Shawinigan	Programme ÉSEE	Comité aviseur 2001i ⁱ
1999 cycle 2	Écorégion 99 Écodistrict 419 Tributaire 05	Saint-Maurice Cartons Saint-Laurent La Tuque	Programme ÉSEE	Comité aviseur 2001j ⁱ
1999 cycle 2	Écorégion 132 Écodistrict 540 Tributaire 02	La Chaudière Fibres Breaky Breakeyville	Programme ÉSEE	Comité aviseur 2000c ⁱ
2000 cycle 2	Écorégion 99 Écodistrict 418 Tributaire 05	Sainte-Anne Fabrique Mallette Tembec Saint-Léonard	Programme ÉSEE	Comité aviseur 2000d ⁱ
1998 cycle 2	Écorégion 132 Écodistrict 540 Tributaire 03	Nicolet Fabrique Cascade Kingsey Falls	Programme ÉSEE	Comité aviseur 2000e ⁱ
1999 cycle 2	Écorégion 99 Écodistrict 418 Tributaire 05	Sainte-Anne (r. aux vases) Abitibi Consolidated Beaupré	Programme ÉSEE	Comité aviseur 2000f ⁱ
1998 cycle 2	Écorégion 99 Écodistrict 426 Tributaire 04	R. du Nord Cascade Saint-Jérôme.	Programme ÉSEE	Comité aviseur 2000g ⁱ
1999 cycle 2	Écorégion 117 Écodistrict 483 Tributaire 03	Saint-François Cascade East-Angus.	Programme ÉSEE	Comité aviseur 2000h ⁱ

1994	Écorégions 117 et 132 Écodistricts 483,540 et 541 Tributaire 03	Yamaska	MENV	St-Onge, 1999 ⁱ
1995	Écorégion 132 Écodistricts 540,541 Tributaire 03	Richelieu	MENV	Piché, 1998 ^m
1994	Écorégions 117 et 132 Écodistricts 482, 540, Tributaire 02	La Chaudière	MENV	Pelletier et St-Onge, 1998 ⁱ
1995 cycle 1	Écorégion 99 Écodistrict 418 Tributaire 05	Jacques Cartier Emco ltée Pont Rouge	Programme ÉSEE	Comité aviseur 1997e ⁱ
1995 cycle 1	Écorégion 99 Écodistrict 424 Tributaire 05	Saint-Maurice Abitibi Consolidated Grand-mère	Programme ÉSEE	Comité aviseur 1997f ⁱ
1994 cycle 1	Écorégion 99 Écodistrict 425 Tributaire 04	Outaouais Bowater Gatineau	Programme ÉSEE	Comité aviseur 1997g ⁱ
1994 cycle 1	Écorégion 99 Écodistrict 425 Tributaire 04	Outaouais Papiers EDDY Domtar, Hull	Programme ÉSEE	Comité aviseur 1997h ⁱ
1994 cycle 1	Écorégion 99 Écodistrict 425 Tributaire 04	Outaouais MacLaren Thurso	Programme ÉSEE	Comité aviseur 1996c ⁱ
1995 cycle 1	Écorégion 99 Écodistrict 425 Tributaire 04	Outaouais Smurfit Stone Portage-du-Fort	Programme ÉSEE	Comité aviseur 1997i ⁱ
1995 cycle 1	Écorégion 99 Écodistrict 424 Tributaire 05	Saint-Maurice (R. Shawinigan) Abitibi div. Bergo Shawinigan	Programme ÉSEE	Comité aviseur 1997j ⁱ
1995 cycle 1	Écorégion 99 Écodistrict 419 Tributaire 05	Saint-Maurice Cartons Saint-Laurent La Tuque	Programme ÉSEE	Comité aviseur 1997k ⁱ
1995 cycle 1	Écorégion 132 Écodistrict 540 Tributaire 02	La Chaudière Fibres Breaky Breakeyville	Programme ÉSEE	Comité aviseur 1997l ⁱ
1997 cycle 1	Écorégion 99 Écodistrict 418 Tributaire 05	Sainte-Anne Fabrique Mallette Tembec Saint-Léonard	Programme ÉSEE	Comité aviseur 1997m ⁱ
1995 cycle 1	Écorégion 132 Écodistrict 540 Tributaire 03	Nicolet Fabrique Cascade Kingsey Falls	Programme ÉSEE	Comité aviseur 1997n ⁱ
1995 cycle 1	Écorégion 99 Écodistrict 418 Tributaire 05	Sainte-Anne (r. aux vases) Abitibi Consolidated Beaupré	Programme ÉSEE	Comité aviseur 1997o ⁱ
1995 cycle 1	Écorégion 99 Écodistrict 426 Tributaire 04	R. du Nord Cascade Saint-Jérôme	Programme ÉSEE	Comité aviseur 1997p ⁱ
1995 cycle 1	Écorégion 117 Écodistrict 483 Tributaire 03	Saint-François Cascade East-Angus.	Programme ÉSEE	Comité aviseur 1997q ⁱ

1991-1992	Écorégions 117 et 132 Écodistricts 483 et 540 Tributaire 03	Saint-François	MENV	St-Onge et Richard, 1996 ⁱ
1993	Écorégions 132 Écodistricts 541 Tributaire 03	Chateauguay	MENV	St-Onge, 1996 ⁱ
1990	Écorégion 99 et 132 Écodistricts 426 et 541 Tributaire 05	Assomption	MENV	St-Onge et Richard, 1994 ⁱ
1989	Écorégion 132 Écodistrict 540 Tributaire 05	Sainte-Anne	MENV	Pas de rapport Données seulement ⁱ
1979	Écorégion 132 Écodistrict 540 Tributaire 05	Sainte-Anne	MLCP	Dubé, 1981 ^m

3.3. Fiches d'analyses pour le bassin du fleuve Saint-Laurent

L'évaluation de la pertinence de chaque banque de données pour définir des sites de référence de la macrofaune benthique dans des habitats-types selon le modèle CABIN a été faite à l'aide de fiches d'analyses comportant trois volets (Habitats, Macrobenthos, Qualité des données). Ces fiches ont été établies en se basant sur les caractéristiques des conditions de l'habitat, et les méthodes requises pour échantillonner et analyser le macrobenthos telles que définies dans le manuel du Réseau Canadien de Biosurveillance Aquatique (CABIN) (Reynoldson *et al.*, 2003) et les réseaux de biosurveillance CABIN appliqués au fleuve Fraser en Colombie Britannique (Reynoldson *et al.*, 2001) et aux Grands Lacs (Reynoldson *et al.*, 1995). Les tableaux 3 à 5 présente la fiche-type établie pour chaque volet pour les sites du fleuve Saint-Laurent et les tributaires incluant de façon exhaustive toutes les caractéristiques du modèle CABIN.

Chaque banque de données a été évaluée en suivant la fiche-type en documentant la présence ou l'absence des informations sur chacune des composantes et en fournissant des détails ou des remarques pertinentes sur chacune des caractéristiques. Les fiches ont été regroupées en annexe dans un volume séparé du rapport. L'annexe 1 regroupe les fiches d'analyses simplifiées correspondant à chacune des banques de données sur le fleuve Saint-Laurent (Annexes 1.1 à 1.23). L'annexe 2 regroupe les fiches d'analyses correspondant à chacune des banques de données sur les tributaires du fleuve (Annexes 2.1 à 2.23). Le format de présentation des bases de

données (format manuscrit ou informatisé) et leur disponibilité sont indiqués pour chaque étude. L'annexe 3 présente la liste des publications principales et connexes ayant été citées dans les annexes 1 et 2.

3.3.1. Habitat

La fiche « Habitat » comprend les informations suivantes (Tableau 3) :

1. *Les informations générales sur la base de données, les sources, l'année et la période d'étude, l'écorégion, l'écodistrict, les régions biogéographiques du bassin du fleuve Saint-Laurent ou le bassin hydrographique des tributaires à l'étude ainsi que son format de présentation (format papier et/ou électronique, existence de données ordinées)*

2. *Les caractéristiques des composantes biophysiques de l'habitat :*
 - a. *Géographie et Géologie*
 - b. *Morphométrie de l'habitat et du site*
 - c. *Sédimentologie et couvert végétal*
 - d. *Qualité des sédiments*
 - e. *Qualité de l'eau*
 - f. *Autres variables biotiques (plancton, poissons)*
 - g. *Toxicologie (métaux traces et contaminants organiques)*
 - h. *Tests de toxicité des sédiments ou de l'effluent (tests sur algues, invertébrés et poissons)*
 - i. *Autres indices toxicologiques (tumeurs et malformations)*

Tableau 3. Liste des descripteurs de l'habitat utilisés pour établir les fiches d'analyses des bases de données pour le fleuve Saint-Laurent et ses tributaires en se basant sur les caractéristiques de l'habitat du modèle CABIN

HABITAT-Fleuve	HABITAT-Tributaires
CARACTÉRISTIQUES – BASE DE DONNÉES	CARACTÉRISTIQUES - BASE DE DONNÉES
Nom: année: saison: source: Écorégion; Écodistrict Région biogéographique: Bassin hydrographique Format papier: Format électronique: Données ordonnées:	nom: année: saison: source: Écorégion; Écodistrict Bassin hydrographique : Format papier: Format électronique: Données ordonnées:
CARACTERISTIQUES- HABITAT	CARACTERISTIQUES- HABITAT
Géographie et géologie (5 variables)	Géographie et géologie (10 variables)
Longitude Latitude Relief géologie du territoire Utilisation du territoire	Altitude Longitude Latitude Relief géologie du territoire Utilisation du territoire % Environnement sauvage % Environnement agricole % Environnement de villégiature % Environnement résidentiel % Environnement industriel
Morphométrie (8 variables)	Morphométrie (12 variables)
Aire de drainage Surface du lac Profondeur moyenne du lac Profondeur maximale du lac Vitesse du courant Largeur du chenal Profondeur du site Pente des berges	Habitat : Type d'écoulement Niveau de l'eau Description des berges Aire de drainage Vitesse du courant Largeur du chenal Pente de la rivière Débit Station : Profondeur de la rivière Largeur de la rivière à la station Profondeur du site Nombre de kilomètres depuis l'embouchure
Sédimentologie et Couvert végétal (14 variables)	Sédimentologie et Couvert végétal (14 variables)
Type de substrat dominant Granulométrie échelle phi % gravier % sable % limon % argile Type de végétation aquatique Émergente Submergée Algues filamenteuses Végétation riparienne	Type de substrat dominant Granulométrie échelle phi % de couverture de végétation aquatique Type de végétation aquatique Végétation riparienne Niveau d'érosion

Qualité des sédiments (16 variables)	Qualité des sédiments (16 variables)
TP TN COT Biomasse de périphyton (chlor. a)	TP TN % Matière organique Biomasse de périphyton (chlor. a)
Qualité de l'eau	Qualité de l'eau
Turbidité Matières en suspension (MES) Couleur Transparence au Secchi Profondeur zone euphotique Température Conductivité Alcalinité Calcium pH Azote total Azote Kjeldahl Phosphore total Phosphore total dissous Nitrates Carbone organique total Carbone organique dissous Chlorophylle a Autres variables	Turbidité Matières en suspension (MES) Couleur Transparence au Secchi Profondeur zone euphotique Température Oxygène dissous Conductivité Alcalinité Calcium pH Azote total Azote Kjeldahl Phosphore total Phosphore total dissous Nitrates - Nitrites Carbone organique total Carbone organique dissous Chlorophylle a Autres variables
Autres variables biotiques	Autres variables biotiques
Taxonomie du phytoplancton Communautés de poissons	Taxonomie du phytoplancton Communautés de poissons
Toxicologie	Toxicologie
Métaux traces (10) Hg, Cd, Cu, Zn, Pb, As, Cr, Co, Ni, V	Métaux traces (10) Hg, Cd, Cu, Zn, Pb, As, Cr, Co, Ni, V
Contaminants organiques BPCs, HAPs, Pesticides, Herbicides	Contaminants organiques BPCs, HAPs, Pesticides, Herbicides Autres variables
Toxicité des sédiments ou de l'effluent (Tests)	Toxicité des sédiments ou de l'effluent (Tests)
<i>Hexagenia</i> spp., <i>Tubifex tubifex</i> <i>Chironomus riparius</i> , <i>Hyaella azteca</i>	<i>Hexagenia</i> spp., <i>Tubifex tubifex</i> <i>Chironomus riparius</i> , <i>Hyaella azteca</i>
Autres indices toxicologiques	Autres indices toxicologiques
Malformations et tumeurs chez les poissons Malformations chez les chironomides	Malformations et tumeurs chez les poissons Malformations chez les chironomides

3.3.2. Macrobenthos

La fiche « Macrobenthos » comprend les informations suivantes (Tableau 4):

3. *Les informations générales sur la base de données, les sources, l'année et la période d'étude, l'écorégion l'écodistrict, les régions biogéographiques du bassin du fleuve Saint-Laurent ou le bassin hydrographique des tributaires à l'étude ainsi que son format de présentation (format papier et/ou électronique, données ordinées) et le site d'entreposage des collections.*
4. *Les caractéristiques de l'échantillonnage et de l'analyse taxonomique du macrobenthos :*
 - j. *Échantillonnage* (types de méthodes d'échantillonnage, durée et période d'échantillonnage, type de tamis, niveau de réplication, nombre de visites, fractionnement des échantillons, niveau du tri sur échantillon entier ou sous-échantillon)
 - k. *Taxonomie* (niveau d'analyse taxonomique)
 - l. *Métriques et indices biotiques* (niveau d'application)

Tableau 4. Liste des descripteurs du macrobenthos utilisés pour établir les fiches d'analyse des bases de données pour le fleuve Saint-Laurent et ses tributaires en se basant sur les caractéristiques de la structure du macrobenthos du modèle CABIN.

HABITAT-Fleuve	HABITAT-Tributaires
CARACTÉRISTIQUES - BASE DE DONNÉES	CARACTÉRISTIQUES - BASE DE DONNÉES
nom: année: saison: source: Écorégion; Écodistrict Région biogéographique Bassin hydrographique Format papier: Format électronique: Données ordinées: Site d'entreposage des collections :	nom: année: saison: source: Écorégion; Écodistrict Bassin hydrographique : Format papier: Format électronique: Données ordinées: Site d'entreposage des collections :
CARACTÉRISTIQUES-Benthos	CARACTÉRISTIQUES-Benthos
Échantillonnage Méthodes d'échantillonnage Kick net sampling = Filet troubleau Maille du filet (200, 400 ou 500 µm) Durée de l'échantillonnage (1, 3 ou 5 min) Type de bennes Autres méthodes (définir) Surface échantillonnée Volume échantillonné Niveau de réplification par site Période d'étude Nombre de visites annuelles à chaque site Méthodes en laboratoire Fractionnement Tri sur tamis 500 µm Tri sur tamis 250 µm Tri entier Tri sous loupe binoculaire	Échantillonnage Méthodes d'échantillonnage Kick net sampling = Filet troubleau Maille du filet (200, 400 ou 500 µm) Durée de l'échantillonnage (1, 3 ou 5 min) Type de bennes Substrat artificiel Hester-Dendy Autres méthodes (définir) Surface échantillonnée Volume échantillonné Niveau de réplification par site Période d'étude Nombre de visites annuelles à chaque site Méthodes en laboratoire Fractionnement Tri sur tamis 600 µm Tri sur tamis 250 µm Tri entier Tri sous loupe binoculaire
Taxonomie	Taxonomie
Grands groupes Familles Genres Espèces Niveau de résolution taxonomique le plus bas Contrôle de qualité	Grands groupes Familles Genres Espèces Niveau de résolution taxonomique le plus bas Contrôle de qualité
Métriques*	Métriques*
Nombre total de taxa Abondance totale Biomasse totale Autres métriques	Nombre total de taxa Abondance totale Biomasse totale Autres métriques
Indices	Indices
Indice de diversité de Shannon Équitabilité ou Redondance	Indice biotique global (IBG ou IBGN)

3.3.3. Qualité des bases de données

La fiche « Qualité des bases de données » (Tableau 5) vise à évaluer si la banque de données possède toutes les caractéristiques requises pour être potentiellement utilisée lors de l'élaboration du modèle CABIN. Elle vise aussi à évaluer si les données sont quantitatives et si les méthodes d'analyse des variables de l'habitat et du macrobenthos sont homogènes et cohérentes. Elle permet s'il y a lieu de définir le contenu de la matrice « habitat » (nombre de sites, types de variables) et de la matrice « macrobenthos » (nombre de sites, nombre de taxons, calcul de métriques ou indices biotiques) et d'évaluer le type de statistiques utilisées dans le cadre de l'étude.

Tableau 5. Critères d'analyse de la qualité des banques de données de chaque étude en vue d'évaluer leur pertinence pour construire un modèle de réseau de biosurveillance du macrobenthos dans le fleuve Saint-Laurent et ses tributaires en se basant sur les caractéristiques du modèle CABIN

CARACTÉRISTIQUES DE LA BASE DE DONNÉES	
nom: année: saison: source: Écorégion; Écodistrict Région hydrographique (fleuve) Bassin hydrographique (tributaires): Format papier: Format électronique: Données ordonnées:	
CRITÈRES DE QUALITÉ DE LA BASE DE DONNÉES	
1. Les données sont-elles complètes ou manque-t-il des mesures biotiques ou abiotiques? 2. Les données sont-elles quantitatives ou en présence-absence? 3. L'échantillonnage a-t-il été pratiqué de manière homogène? La méthode est-elle la même pour tous les prélèvements? 4. Cohérence des méthodes de prélèvement d'une base de données à l'autre?	
TYPE DE DONNÉES INCLUSES DANS LA BASE DE DONNÉES	
MATRICES -	Habitat
Classification des sites de référence Nombre de sites échantillonnés Nombre de sites de référence Nombre de variables disponibles Géographie-Géologie-Morphologie Sédimentologie et couvert végétal Qualité des sédiments Qualité de l'eau Variables biotiques	
MATRICES -	Benthos
Classification des sites de référence Nombre de sites échantillonnés Nombre de sites de référence Nombre de variables disponibles Taxonomie Métriques et indices	
ANALYSES STATISTIQUES UTILISÉES	
Analyses de variance Analyses de groupement Analyses par ordination: espèces représentatives Modèles de relations Benthos-Habitat (sites de référence) Modèles explicatifs : variables discriminantes Analyses discriminantes Ordinations canoniques (Modèles CANOCO)	

4. Évaluation de la pertinence des banques de données sur le fleuve Saint-Laurent et ses tributaires

4.1. Critères d'évaluation

Nous avons évalué les banques de données consultées en se basant sur les critères suivants par ordre de priorité:

- 1 ***Qualité de la description des habitats*** : La description de l'habitat doit inclure un nombre suffisant de variables environnementales sur les coordonnées géographiques des sites, la morphométrie et la profondeur, la sédimentologie, la qualité des sédiments et de l'eau afin de pouvoir déterminer les modèles permettant de prédire la structure du macrobenthos en fonction des conditions de référence de l'habitat
- 2 ***Qualité de la description du macrobenthos*** : La description de la structure du macrobenthos doit se baser sur une analyse au niveau de la famille et sur des techniques d'échantillonnage cohérentes et homogènes d'un site à l'autre et d'une étude à l'autre. De préférence, l'échantillonnage doit avoir eu lieu en fin d'été ou au début de l'automne ou après colonisation d'un minimum de 6-8 semaines sur substrat artificiel; il doit offrir une bonne résolution spatiale (nombre de stations et de répliques) et temporelle (1 ou plusieurs visites).
- 3 ***Qualité des données pour appliquer un modèle CABIN*** : La banque de données doit présenter les caractéristiques requises pour construire les matrices « Habitat » et « Benthos » et appliquer des méthodes de groupement et d'analyses multivariées du modèle CABIN, notamment la cohérence des unités de mesure, très peu de données manquantes, un échantillonnage adéquat, la fiabilité des identifications et de la base de données elle-même.

Si les critères 1 à 3 sont satisfaits, les banques de données pourraient servir à établir des sites de référence dans des habitats types représentatifs des zones biogéographiques du Saint-Laurent et

des tributaires. Toutefois, pour appliquer un modèle CABIN, il faut également que les bases de données contiennent des informations sur l'environnement et le macrobenthos de sites perturbés dans chacun des types d'habitats. Ceci implique que les banques disposent aussi d'informations sur le type de stress environnemental (effluents chimiques et/ou organique, activités forestières ou agricoles, remblayage ou dragage, variations de niveau d'eau), le niveau de contamination (métaux, contaminants organiques, pesticides, etc.) ou de perturbation.

Les critères 4 et 5 devraient être satisfaits pour que l'on puisse appliquer un modèle CABIN d'évaluation environnementale avec conditions de référence sur l'ensemble ou un sous-ensemble des secteurs du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires à partir des banques de données colligées dans cette étude.

- 4 **Potentiel pour définir des sites de références ou des sites perturbés** : la banque de données doit permettre de caractériser le macrobenthos dans le plus grand nombre possible de sites de référence (faiblement perturbés) et de le comparer à celui de sites perturbés pour le même type d'habitat. Les sites de référence dans les tributaires doivent être situés dans les zones amont des papetières ou en milieu forestier, mais ne doivent pas être influencées par des rejets urbains ou agricoles. Une bonne description des niveaux de contamination ou de perturbations dans les sites à évaluer est primordiale afin de définir les assemblages de macrobenthos caractéristiques de différents types de perturbation.
- 5 **Couverture géographique** : La banque de données devrait avoir une bonne couverture géographique des principales régions biogéographiques et des masses d'eau du bassin du fleuve Saint-Laurent, ainsi que des bassins hydrographiques des principaux tributaires, si l'on envisage d'établir ou de tester un modèle CABIN à grande échelle sur le bassin du fleuve Saint-Laurent. Cependant, ce critère n'est pas essentiel si l'on veut tester le modèle CABIN à l'échelle locale d'un secteur du fleuve (lacs fluviaux, archipel) ou d'un tributaire.

4.2. Évaluation des bases de données du fleuve Saint-Laurent

Le tableau 6 présente les résultats de l'évaluation de chacune des banques de données sur le fleuve Saint-Laurent.

Tableau 6. Évaluation générale de l'utilité des banques de données sur le macrobenthos du fleuve Saint-Laurent pour bâtir un modèle de surveillance selon l'approche par conditions de référence (CABIN). p : nombre total de prélèvements de macroinvertébrés dans l'ensemble des sites ou stations.

Périodes d'étude Sites et Références	Critères d'évaluation	Pertinence pour CABIN
Ph.D. UQAM 2003- Lac Saint-Pierre Cremona, 2003 Annexe 1.1	1. Description incomplète de l'habitat sauf pour la granulométrie, la végétation et la qualité de l'eau. Analyse du mercure et méthyl-mercure dans chaque site 2. Analyse du benthos aux genres et espèces seulement pour les insectes et gastéropodes dans la végétation aquatique. Groupes fonctionnels du benthos. Manque de cohérence pour les méthodes d'échantillonnage. 3. Difficulté pour appliquer des analyses multivariées due au faible nombre de stations 4. Potentiel pour définir des sites peu perturbés sur la rive nord et la rive sud du lac Saint-Pierre 5. Couverture géographique restreinte à 4 stations (p:108) sur la rive sud et la rive nord du lac Saint-Pierre	Faible Pourrait servir de méthodologie de base pour définir un programme d'échantillonnage dans les herbiers littoraux des lacs fluviaux. Pertinence pour la problématique du mercure (bioaccumulation)
M. Sc. UdeM 2000-2001 Lac Saint-Pierre Tessier, 2003 Annexe 1.2	1. Bonne description de l'habitat sauf pour la sédimentologie, la qualité des sédiments et la toxicologie 2. Analyse du benthos aux grands groupes seulement dans 3 types de végétation aquatique. Biomasse du macrobenthos par poids sec de plantes. Échantillonnage adapté aux plantes et bon niveau de réplication 3. Difficulté pour appliquer des analyses multivariées due au faible nombre de stations 4. Potentiel pour définir des sites de référence et des sites perturbés sur la rive nord et la rive sud du lac Saint-Pierre 5. Couverture géographique restreinte à 5 stations au lac Saint-Pierre dans les 3 masses d'eau. (p:71)	Faible Pourrait servir de méthodologie de base pour définir un programme d'échantillonnage dans les herbiers littoraux des lacs fluviaux. Pertinence pour la problématique des changements climatiques et des variations de niveau d'eau dans le fleuve Saint-Laurent
Programme ÉSEE Cycle 1: 1995 Comités aviseurs	1. Assez bonne description de l'habitat et de la toxicité des effluents	Moyen Pourrait servir de méthodologie de base pour

<p>1997a, b, c, d 1996a, b</p> <p>Cycle 2: 1998-1999 2001a,b,c,d; 2000 a,b</p> <p>Annexes 1.3 – 1.6 Fleuve, aval Lac Saint-Pierre Tripap Inc. Cascade Lupel Désancrage CMD Kruger Inc. Kruger-Wayagamack</p> <p>Annexe 1.7 Lac Saint-Louis Beauharnois Domtar, Spexel Inc.</p> <p>Annexe 1.8 Couloir fluvial amont Québec Alliance Donacona</p>	<p>2. Analyse du benthos aux grands groupes, familles, genre et espèces. Contrôle de qualité au niveau de la taxonomie. Cohérence et homogénéité au niveau des méthodes d'échantillonnage. Indices toxicologiques.</p> <p>3. Difficulté pour appliquer des analyses multivariées due au faible nombre de stations de référence (max 6 stations de référence par étude)</p> <p>4. Potentiel pour définir des sites de référence et des sites perturbés par les effluents de pâtes et papiers sur les rives du lac Saint-Louis et du lac Saint-Pierre</p> <p>5. Couverture géographique restreinte aux zones amont-aval des effluents des fabriques de pâtes et papiers. Distribution des sites à Beauharnois dans le lac Saint-Louis et dans le fleuve en aval du lac Saint-Pierre. Selon les études le nombre de stations varient de 7 (p: 14) à 18 (p: 54)</p>	<p>définir un programme d'échantillonnage dans les tributaires du fleuve Saint-Laurent</p> <p>Pertinence pour tester ultérieurement un modèle CABIN en comparant le macrobenthos des sites perturbés avec les sites de référence pour des tributaires caractéristiques d'un type de stress environnemental (agricole vs forestier).</p>
<p>Ph.D. McGill 2000</p> <p>Fleuve, rive nord St-Lambert-Sorel deBruyn, 2001</p> <p>Annexe 1.9</p>	<p>1. Pas de description complète de l'habitat. Lacunes pour la qualité des sédiments et de l'eau.</p> <p>2. Analyse taxonomique sommaire du benthos. Estimation des biomasses aux grands groupes seulement.</p> <p>3. Impossibilité d'appliquer des analyses multivariées due au manque de données sur la structure taxonomique du benthos.</p> <p>4. Potentiel pour définir des sites de référence et des sites perturbés au niveau de l'effluent de la CUM</p> <p>5. Couverture géographique restreinte à la rive nord du fleuve au niveau de l'effluent de la CUM. Au total 12 stations (p: 97)</p>	<p>Aucune</p> <p>Manque les données sur la taxonomie du macrobenthos</p>
<p>Article de revue 1995 et 1996</p> <p>Lacs Saint-François et Saint-Louis et port de Montréal Bombardier et Blaise, 2000</p> <p>Annexe 1.10</p>	<p>1. Pas de description complète de l'habitat. Lacunes pour la qualité des sédiments et de l'eau.</p> <p>2. Analyse taxonomique du benthos non présentée. Présentation des indices synthétiques seulement.</p> <p>3. Impossibilité d'appliquer des analyses multivariées due au manque de données sur la structure taxonomique du benthos.</p> <p>4. Potentiel pour définir des sites perturbés au niveau du port de Montréal</p> <p>5. Couverture géographique restreinte: lac Saint-François (4 sites), lac Saint-Louis (2 sites) et Port de Montréal (6 sites)</p>	<p>Aucune</p> <p>Manque les données sur la taxonomie du macrobenthos</p>

<p>M.Sc. U. Ottawa 1995</p> <p>Couloir fluvial Mercier, 1998</p> <p>Annexe 1.11</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pas de description complète de l'habitat. Bonne caractérisation de la qualité de l'eau seulement. 2. Substrats non naturels : bouées de la voie maritime. Échantillonnage quantitatif adapté. Analyse taxonomique aux grands groupes seulement. 3. Impossibilité d'appliquer des matrices et des analyses multivariées due au manque de données sur la structure taxonomique du benthos et les descripteurs de l'habitat. 4. Potentiel pour définir des sites de référence et des sites perturbés au niveau de l'effluent de la CUM 5. Couverture géographique restreinte à la voie maritime du fleuve Saint-Laurent en amont et aval de l'effluent de la CUM –Sorel et dans le couloir de Beauharnois. 18 stations (p:186) 	<p>Aucune</p> <p>Substrats non naturels</p> <p>Analyse taxonomique aux grands groupes seulement.</p>
<p>Contrat de recherche 1991</p> <p>Lac Saint-Louis Willsie et Costan, 1996 Jacquaz, 1995</p> <p>Annexe 1.12</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bonne description de l'habitat. 2. Bonne analyse taxinomique. 3. Possibilité d'application des matrices et des analyses multivariées avec données sur les descripteurs de l'habitat (physico-chimie et toxicologie). 4. Peu de potentiel pour définir des sites de référence et des sites perturbés au niveau du lac Saint-Louis dû au caractère trop restreint de l'étude (4 sites) 5. Couverture géographique restreinte au lac Saint-Louis. 4 stations (p: 24) 	<p>Moyen</p> <p>Bonne analyse taxonomique Validation de ICI</p>
<p>Contrat de recherche 1989</p> <p>Lac Saint-François Pinel-Alloul <i>et al.</i> 1996, 1991</p> <p>Annexe 1.13</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Description complète de l'habitat au niveau de toutes ses composantes. Bonne caractérisation de la toxicologie des sédiments (métaux, organiques). 2. Analyse taxonomique du macrobenthos complète aux grands groupes, familles, genres et espèces. Application de métriques et d'indices. Méthodes d'échantillonnage homogènes et cohérentes. Bonne période d'échantillonnage à l'automne. Bonne réplication. 3. Possibilité de construire les matrices d'habitat et du macrobenthos et d'appliquer des analyses multivariées du modèle CABIN. 4. Potentiel pour définir des sites de référence et des sites perturbés au niveau du lac Saint-François. 5. Couverture géographique restreinte au lac Saint-François. Étude limitée à 16 stations (p: 80). 	<p>Bonne</p> <p>Très bonne description de l'habitat et du macrobenthos</p> <p>Possibilité de bâtir un modèle CABIN mais limitation à cause du faible nombre de stations.</p>
<p>FAPAQ 1982-1983</p> <p>Archipel Montréal</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Description assez complète de l'habitat au niveau de la plupart des composantes sauf la qualité des sédiments et la toxicologie. 2. Analyse taxonomique du macrobenthos complète aux 	<p>Bonne</p> <p>Très large couverture des régions biogéographiques du fleuve</p> <p>Assez bonne description de</p>

<p>Fleuve, rivières 2 lacs fluviaux Ferraris, 1984 Gravel et Dubé. 1983</p> <p>Annexe 1.14</p>	<p>grands groupes, familles, genres et espèces. Application d'indices. Méthodes d'échantillonnage homogènes et cohérentes pour chacun des habitats (herbier et eau libre). Bonne couverture temporelle. Bonne réplication.</p> <p>3. Possibilité de construire des matrices Habitat et macrobenthos et d'appliquer des analyses multivariées du modèle CABIN.</p> <p>4. Potentiel pour définir des sites de référence au niveau des régions biogéographiques du fleuve au niveau de l'archipel de Montréal.</p> <p>5. Couverture géographique très large sur l'ensemble de l'archipel de Montréal avec un grand nombre de stations en zone littorale (avec herbiers) et en eau libre. 100 sites (p: 975) pour les 2 campagnes d'échantillonnage.</p>	<p>deux types d'habitat : herbier et eau libre. Échantillonnage stratifié selon les principaux descripteurs de l'habitat</p> <p>Très bonne description du macrobenthos</p> <p>Application de méthodes multivariées conformes au modèle CABIN</p>
<p>M.Sc. Polytechnique U de M 1978 2 lacs fluviaux couloir Beauharnois Messier, 1981 Delisle <i>et al.</i>; 1981</p> <p>Annexe 1.15</p>	<p>1. Description assez complète de l'habitat au niveau de la plupart des composantes sauf la qualité des sédiments, par contre la contamination métallique est évaluée dans les sédiments et dans les organismes.</p> <p>2. Analyse taxonomique du macrobenthos complète aux grands groupes, familles, genres et espèces mais données qualitatives seulement. Application indice biotique. Méthodes d'échantillonnage peu décrites.</p> <p>3. Impossibilité de construire des matrices Habitat et macrobenthos et d'appliquer des analyses multivariées du modèle CABIN.</p> <p>4. Potentiel pour définir des sites contaminés (Cd, Hg, As et Zn) au niveau de la région de Beauharnois mais données historiques</p> <p>5. Couverture géographique restreinte à 27 stations (p : 42), sortie du lac Saint-François (5), couloir de Beauharnois (15X2) et sud du lac Saint-Louis (7).</p>	<p>Faible aucune donnée quantitative sur les communautés benthiques</p>
<p>Projet-Thermopol, UQTR 1976-1983 Fleuve, aval Lac Saint-Pierre Vincent, 1979 Vincent, 1981 Vincent et Vaillancourt, 1978 Vincent <i>et al.</i>, 1982, 1983 Vaillancourt et Laferrière 1983 Laferrière et Vaillancourt, 1984</p> <p>Annexe 1.14</p>	<p>1. Description assez complète de l'habitat au niveau de la plupart des composantes sauf les coordonnées géographiques, la qualité des sédiments et la toxicologie.</p> <p>2. Analyse taxonomique du macrobenthos complète aux grands groupes, familles, genres et espèces. Application d'indices. Méthodes d'échantillonnage homogènes et cohérentes. Bonne couverture temporelle. Bonne réplication. Pas de données ordinées.</p> <p>3. Possibilité de construire des matrices Habitat et macrobenthos et d'appliquer le modèle CABIN.</p> <p>4. Peu de potentiel pour définir des sites de référence</p> <p>5. Couverture géographique limitée à la zone de l'effluent de la centrale de Gentilly à l'aval du lac Saint-Pierre. Le nombre de stations varie de 5 à 57 (p: 38 à 522)</p>	<p>Moyen Zone restreinte</p> <p>Bonne description de l'habitat. Données anciennes dans un habitat qui a peut-être changé</p> <p>Bonne analyse du macrobenthos</p> <p>Possibilité limitée d'application de méthodes multivariées car pas d'accès aux données brutes, les données étant présentées sous forme de moyennes dans des articles</p>

<p>Données historiques Avant 1977</p> <p>Annexes 1.15 et 1.21 Lac des deux-Montagnes Rivières des Prairie Rivière des Mille-files Lagacé <i>et al.</i> 1977 Vaillancourt, 1968</p> <p>Annexes 1.16 et 1.17 Fleuve Cornwall-Montmagny Levasseur, 1977 Demers et Levasseur, 1976</p> <p>Annexe 1.18 Fleuve Cornwall-Montmagny Eco-recherches 1974</p> <p>Annexe 1.19 Fleuve Lac des Deux Montagnes Lac Saint-François Beak, 1973</p> <p>Annexe 1.20 Lac Saint-Louis Magnin, 1970</p>	<p>1. Description assez sommaire de l'habitat au niveau de la plupart des composants. Aucune donnée sur la toxicologie des sédiments.</p> <p>2. Analyse taxonomique du macrobenthos assez complète aux grands groupes, familles, genres et espèces. Application d'indices de diversité. Méthodes d'échantillonnage variables d'une étude à l'autre (filet troubleau ou Surber, Bennes, échantillonneurs dans les herbiers). Nombre de stations variables selon les études (4 à 87 stations). Couverture saisonnière variable (1 à 6 visites par été).</p> <p>3. Difficulté pour construire des matrices Habitat et macrobenthos et appliquer des analyses multivariées du modèle CABIN.</p> <p>4. Peu de potentiel pour définir des sites de référence du au manque de données sur la contamination des sites inventoriés</p> <p>5. Couverture géographique limitée dans certaines études (4 stations – 16 prélèvements) ou très large dans d'autres études (144 stations).</p>	<p>Faible</p> <p>Description incomplète de l'habitat</p>
---	---	---

Il ressort de l'analyse des bases de données sur le fleuve Saint-Laurent que seulement deux bases de données présentent un potentiel d'application pour définir des sites de référence pour le macrobenthos du fleuve Saint-Laurent :

- 1 La banque de données sur 16 stations du lac Saint-François pour laquelle nous disposons de données complètes sur l'habitat et le macrobenthos (Tableau 6). Toutefois, cette banque de données a une couverture géographique restreinte aux eaux vertes du Saint-Laurent. Elle inclut plusieurs types d'habitats (avec et sans végétation, diverses profondeurs) et des sites peu pollués ou pollués par le mercure et les BPCs (Pinel-Alloul *et al.*, 1996).

- 2 La banque de données du programme Archipel (Tableau 6) pour laquelle nous avons une grande couverture géographique mais où il manque les données sur la qualité et la toxicologie des sédiments. Elle donne une bonne description du macrobenthos dans la zone littorale des lacs fluviaux, riches en herbiers et dans les eaux libres du corridor fluvial. Il sera cependant difficile d'y définir des sites de référence à intégrer à un modèle CABIN si on ne connaît pas le niveau de perturbation des sites inventoriés.

Les autres banques de données sur le fleuve Saint-Laurent (Tableau 6) présentent souvent des lacunes trop importantes de la description des habitats ou du niveau d'analyse taxonomique du macrobenthos pour offrir un potentiel suffisant pour un programme de surveillance de type CABIN.

4.3. Évaluation des bases de données sur les tributaires

Le tableau 7 présente les résultats de l'évaluation de chacune des banques de données sur les tributaires du fleuve Saint-Laurent.

Tableau 7. Évaluation générale de l'utilité des banques de données sur le macrobenthos des tributaires du fleuve Saint-Laurent pour bâtir un modèle de biosurveillance selon l'approche par conditions de référence (CABIN). p : nombre total de prélèvements des macro invertébrés pour l'ensemble des sites ou stations.

Tributaires Programme, Périodes d'étude et Références	Critères d'évaluation	Pertinence pour CABIN
Rivière Saint-Maurice Rivière Shawinigan MENV, 1996 Pelletier, 2002 Programme ÉSEE, 1995 et 1999 Comités aviseurs 1997f, j, k 2001i-j Annexe 2.1	1. Très bonne description des caractéristiques de l'habitat et des sites, sauf pour la qualité des sédiments. 2. Analyse du macrobenthos aux grands groupes et familles. Application de métriques et d'indices. Cohérence et homogénéité au niveau des méthodes d'échantillonnage. Très bon niveau de réplification et échantillonnage de juillet à septembre. 3. Possibilité d'application d'analyses multivariables	Moyenne Pourrait servir de base de données pour définir le macrobenthos d'une rivière peu perturbée en milieu forestier (Saint-Maurice) et d'une rivière perturbée par les papetières (Shawinigan). Par contre, le flottage du bois et la présence de nombreux barrages créent un autre type de perturbation. Les courants forts et

<p>Annexe 2.6 Annexe 2.7 Annexe 2.18</p>	<p>4. Potentiel mitigé pour définir des sites de référence dans un milieu forestier</p> <p>5. Couverture géographique sur 53- stations (p: 244) de la rivière Saint-Maurice provenant des études du MENV et des 2 cycles du programme ÉSEE et 26 stations (p: 64) de la rivière Shawinigan provenant du programme ÉSEE</p>	<p>la profondeur élevée rendent l'échantillonnage difficile. Pertinence mitigée pour établir des sites de référence, mais risque de perturbation par les eaux usées des municipalités en amont et les nombreux barrages. Pour ce qui est du flottage du bois, il n'est plus en vigueur mais faut voir si l'influence de cette activité se manifeste sur l'habitat</p>
<p>Rivière des Outaouais Programme ÉSEE, 1994-1995 et 1999</p> <p>Comités aviseurs 1996c, 1997g-i 2001e-h</p> <p>Annexes 2.2 à 2.5</p>	<p>1. Description incomplète de l'habitat sauf pour la sédimentologie. Tests de toxicité</p> <p>2. Analyse du benthos aux grands groupes, familles, genre et espèces. Application de métriques et indices. Manque de cohérence et d'homogénéité au niveau des méthodes d'échantillonnage entre les différents sites. Faible niveau de réplication</p> <p>3. Possibilité d'appliquer des analyses multivariables</p> <p>4. Potentiel pour définir des sites de référence et des sites perturbés par les effluents de pâtes et papiers sur la rivière des Outaouais</p> <p>5. Couverture géographique sur un large secteur de la rivière depuis Portage-du-Fort jusqu'à Thurso avec des sites amont (sites de référence) et aval (sites perturbés) de papeteries. Au total, 117 stations (p:268) furent inventoriées dans la rivière des Outaouais dans le cadre du programme ÉSEE lors des 2 cycles.</p>	<p>Utilisation potentielle près de Thurso et très bonne à Portage-du-Fort</p> <p>Pourrait servir de bases de données pour une rivière en milieu perturbé par une forte urbanisation et des papeteries, mais manque de données complètes sur l'habitat</p> <p>Pertinence pour tester ultérieurement un modèle CABIN en comparant le macrobenthos des sites perturbés avec les sites de référence</p>
<p>Rivière du Nord Programme ÉSEE, 1995 et 1998 Comités aviseurs 1997p 2000g</p> <p>Annexe 2.12</p>	<p>1. Description complète de l'habitat.</p> <p>2. Bon niveau d'analyse taxonomique du benthos.</p> <p>3. Possibilité d'appliquer des analyses multivariables</p> <p>4. Potentiel pour définir des sites de référence et des sites perturbés</p> <p>5. Bonne couverture géographique. Au total, 21 stations (p:54) furent inventoriées dans la rivière du Nord dans le cadre du programme ÉSEE lors des 2 cycles.</p>	<p>Faible à bonne</p> <p>Les conditions actuelles ne sont pas propices pour établir des sites de référence mais pourraient être utiles si les conditions du milieu en amont s'améliorent suite à l'implantation de l'usine d'épuration de Saint-Jérôme</p> <p>Pertinence pour tester un modèle CABIN en comparant le macrobenthos des sites perturbés avec les sites de référence pour le même type d'habitat.</p>
<p>Rivière l'Assomption MENV, 1990 St-Onge et Richard 1994</p> <p>Annexe 2.21</p>	<p>1. Description complète de l'habitat.</p> <p>2. Substrats artificiels et bennes. Bonne caractérisation du benthos</p> <p>3. Possibilité d'appliquer des analyses multivariables</p> <p>4. Peu de potentiel pour définir des sites de référence et des sites perturbés</p>	<p>Faible</p> <p>3 km avec qualité de benthos bonne en aval de Joliette. Problèmes d'eutrophisation et de coliformes sur tout son parcours</p>

		5. Couverture géographique sur 78.7km couvrant la plaine du Saint-Laurent et le bouclier canadien. Au total, 13 stations (p:130) furent inventoriées dans la rivière l'Assomption dans le cadre du programme du MENV.	
<p>Rivière Sainte-Anne Programme ÉSEE, 1997 et 2000 Comités aviseurs 1997m et o 2000d et f</p> <p>MENV, 1989 (données non publiées)</p> <p>Comité d'étude sur le poulamon, 1979 Dubé, 1981</p> <p>Annexe 2.9 Annexe 2.11 Annexe 2.22 Annexe 2.23</p>		<p>1. Description assez complète au niveau de la morphométrie du chenal, mais restreinte pour la sédimentologie et la végétation, ainsi que la qualité des sédiments et de l'eau. Quelques données sur la toxicologie des effluents et les tests toxicologiques.</p> <p>2. Analyse taxonomique du macrobenthos complète aux grands groupes, familles, genres et espèces. Application de métriques et d'indices de diversité. Échantillonnage non homogène au niveau des méthodes. Données en provenance d'études produites à une décennie d'intervalle.</p> <p>3. Possibilité de construire des matrices Habitat et macrobenthos et appliquer des analyses multivariées du modèle CABIN.</p> <p>4. Potentiel faible pour définir des sites de référence et des sites perturbés.</p> <p>5. Couverture géographique limitée à la zone amont-aval de la papetière (65 stations, p:118, ÉSEE), ou sur 76 km de la rivière (9 stations, p:45, MENV) et données fragmentaires sur 10 stations (p:10) datant de 1981(Comité d'étude sur le poulamon)</p>	<p>Utilisation faible</p> <p>Description incomplète de l'habitat</p> <p>Bases de données avec site de référence et sites perturbés</p> <p>Manque de cohérence au niveau des méthodes d'échantillonnage</p> <p>Zone amont subit l'influence des marées</p>
<p>Rivière Jacques Cartier Programme ÉSEE, 1995</p> <p>Comité aviseur 1997e</p> <p>Annexe 2.17</p>		<p>1. Description assez complète de l'habitat, sauf pour la végétation et la qualité de l'eau.</p> <p>2. Analyse taxonomique du macrobenthos complète aux grands groupes, familles, genres et espèces. Application de métriques et d'indices. Manque de données sur le benthos au cycle 2</p> <p>3. Possibilité de construire des matrices Habitat et macrobenthos et d'appliquer des analyses multivariées du modèle CABIN pour le cycle 1.</p> <p>4. Potentiel moyen pour définir des sites de référence et des sites perturbés.</p> <p>5. Couverture géographique restreinte (6 stations, p:6)</p>	<p>Moyenne</p> <p>Cette zone subit plusieurs perturbations (agricole, eaux domestiques, barrages)</p> <p>Qualité de l'eau est bonne</p> <p>Difficulté d'échantillonnages (profondeur et courant)</p>

<p>Rivière Chateauguay MENV, 1993 St-Onge 1996</p> <p>Annexe 2.20</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Description complète de l'habitat au niveau de la plupart des composantes 2. Analyse taxonomique du macrobenthos complète aux grands groupes, familles, genres et espèces. Application d'indices. Méthodes d'échantillonnage homogènes et cohérentes. Bonne couverture temporelle. Bonne réplication. 3. Possibilité de construire des matrices Habitat et macrobenthos et d'appliquer des analyses multivariées du modèle CABIN. 4. Potentiel pour définir des sites de référence 5. Couverture géographique large sur 19 stations (p:152) (69 km) 	<p>Bonne</p>
<p>Rivière Saint-François Programme ÉSEE, 1995 et 1999 Comités aviseurs 1997q 2000h</p> <p>MENV, 1991-1992 St-Onge et Richard 1996</p> <p>Annexe 2.13 Annexe 2.19</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Description incomplète de l'habitat au niveau de la granulométrie et de la qualité des eaux (ÉSEE) et très complète pour l'étude du MENV 2. Analyse taxonomique du macrobenthos complète aux grands groupes, familles, genres et espèces. Application d'indices. Méthodes d'échantillonnage non homogènes pour ÉSEE et plus homogènes pour MENV 3. Possibilité de construire des matrices Habitat et macrobenthos et d'appliquer des analyses multivariées du modèle CABIN. 4. Bon potentiel pour définir des sites de référence particulièrement plus en amont 5. Couverture géographique limitée aux zones amont et aval des papetières (11stations, p:37, ÉSEE) et plus étendue (176km) pour l'étude du MENV (11stations, p:110). 	<p>Moyen à fort</p>
<p>Rivière Richelieu MENV, 1995 Piché 1998</p> <p>Annexe 2.15</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Très bonne description de l'habitat au niveau de la plupart des composantes. 2. Analyse taxonomique du macrobenthos assez complète aux grands groupes, familles et genres. Application de métriques et d'indices de diversité. Méthodes d'échantillonnage homogènes. Bonne réplication 3. Possibilité de construire des matrices Habitat et macrobenthos et appliquer des analyses multivariées du modèle CABIN. 4. Bon potentiel pour définir des sites de référence et de perturbation en milieu urbain et agricole 5. Couverture géographique large (118 km) (21stations et p:168). 	<p>Moyenne</p> <p>Zone de référence potentielle en aval de Lacolle</p> <p>Description complète de l'habitat</p> <p>Batillage important engendre érosion de rives et affecte communauté littorale</p>

<p>Rivière La Chaudière MENV, 1994 Pelletier et St-Onge 1998 Programme ÉSEE, 1995 et 1999 Comité aviseur 1997l 2000c</p> <p>Annexe 2.8 Annexe 2.16</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Description assez complète au niveau de la sédimentologie et de la végétation, de la qualité des sédiments et de l'eau. Quelques données sur la toxicologie des sédiments et les indices toxicologiques. 2. Analyse taxonomique du macrobenthos complète aux grands groupes, familles, genres et espèces. Application d'indices de diversité. Échantillonnage au filet Surber (ÉSEE) ou Hester-Dendy (MENV) 3. Possibilité de construire des matrices Habitat et macrobenthos et appliquer des analyses multivariées du modèle CABIN. 4. Bon potentiel pour établir des stations de référence particulièrement dans le secteur Haute Chaudière 5. Couverture géographique limitée à la zone amont-aval de la papetière (22 stations, p:43, ÉSEE) et plus large pour l'étude du MENV (30 stations, p:240 sur 183 km) 	<p>Potentiel élevé</p> <p>Description assez complète de l'habitat</p> <p>Bases de données avec sites de référence et sites perturbés</p>
<p>Rivière Nicolet Programme ÉSEE, 1995 et 1998 Comité aviseur 1997n 2000e</p> <p>Annexe 2.10</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Description incomplète de l'habitat pour la végétation, la qualité de l'eau et des sédiments. Données environnementales non homogènes entre les cycles. Quelques données sur la toxicologie des sédiments et les indices toxicologiques 2. Analyse taxonomique du macrobenthos assez complète aux grands groupes, familles, genres et espèces. Application de métriques et d'indices de diversité. Méthodes d'échantillonnage homogènes. 3. Possibilité de construire des matrices Habitat et macrobenthos et appliquer des analyses multivariées du modèle CABIN. 4. Assez bon potentiel pour définir des sites de référence et des sites perturbés 5. Couverture géographique limitée aux zones amont et aval de la papetière (27 stations, p:52). 	<p>Moyenne</p> <p>Description incomplète de l'habitat</p> <p>Bases de données avec sites de référence et sites perturbés</p>
<p>Rivière Yamaska MENV, 1994 St-Onge 1999</p> <p>Annexe 2.14</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Description complète de l'habitat au niveau de la plupart des composantes. Aucune donnée sur la qualité des sédiments. 2. Analyse taxonomique du macrobenthos assez complète aux grands groupes et familles. Application de métriques et d'indices de diversité. Méthodes d'échantillonnage homogènes et bonne réplification. 3. Possibilité de construire des matrices Habitat et macrobenthos et appliquer des analyses multivariées du modèle CABIN. 	<p>Bonne</p> <p>Description assez complète de l'habitat</p> <p>Intégrité biologique est excellente de Bromont à Farnham</p>

<p>4. Bon potentiel pour définir des sites perturbés en milieu agricole comparativement à la zone en amont de Farnham.</p> <p>5. Très bonne couverture géographique avec 39 sites (39 stations, p: 312 sur 289 km)</p>
--

Il ressort de l'analyse des bases de données sur les tributaires du fleuve Saint-Laurent que plusieurs bases de données auraient un potentiel pour appliquer une approche CABIN avec conditions de référence. Sur la rive nord, on peut citer celles des rivières Saint-Maurice, des Outaouais, Jacques Cartier qui ont un potentiel moyen, et sur la rive sud, celles des rivières Saint-François, Richelieu et Nicolet avec également un potentiel moyen, et finalement celle de la rivière Chaudière qui présente un très bon potentiel.

Il faut noter que notre évaluation est basée sur des études publiées dont certaines datent de 10 ans, ce qui ne veut pas dire que les conditions du milieu ou la qualité des communautés benthiques ne se sont pas améliorées depuis lors, suite au programme du MENV. En effet, depuis ces études, plusieurs municipalités ont développé un traitement de leurs eaux usées. Par contre, dans les zones à vocation fortement agricole particulièrement celles à cultures extensives, les conditions du milieu et la qualité du benthos se sont peut-être encore plus dégradées.

4.4. Application d'un modèle CABIN à partir des bases de données existantes

Cet inventaire indique qu'il sera difficile d'établir des sites de référence sur le macrobenthos du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires uniquement à partir des banques de données colligées dans le cadre de ce projet. Toutefois certaines banques de données présentent un intérêt pour tester l'application d'un modèle CABIN de façon sectorielle. Ainsi au niveau du fleuve, il serait intéressant d'utiliser deux banques de données (lac Saint-François – Archipel) pour tester l'applicabilité du modèle CABIN à des échelles locale (lac Saint-François) ou régionale (Archipel). Par contre, il ressort de l'analyse des bases de données sur les tributaires que la plupart des bases de données présentent un potentiel d'application pour définir des sites de référence et des sites perturbés pour le macrobenthos des tributaires du fleuve Saint-Laurent, et cela particulièrement dans les tributaires de la rive sud, en particulier la rivière Chaudière.

Cet inventaire fait aussi ressortir que dans beaucoup de secteurs du fleuve Saint-Laurent, les études sur le macrobenthos sont inexistantes ou très restreintes. Il sera donc nécessaire de réaliser une campagne d'échantillonnage à grande échelle du macrobenthos dans le fleuve Saint-Laurent qui tiendra compte des principaux habitats écologiques (masses d'eau, herbiers, sédiments) dans des zones peu perturbées afin de réunir les bases de connaissance pour établir un réseau de biosurveillance du macrobenthos fondé sur un modèle CABIN. Ajoutons que la base de données de référence d'un modèle CABIN exige que l'effort d'échantillonnage soit le même dans tous les types d'habitats, ce qui est très difficile, voire impossible à garantir pour les bases de données existantes.

Par ailleurs, on pourrait utiliser les quelques banques de données jugées acceptables pour faire une validation sommaire du modèle CABIN ou de variantes mieux fondées au niveau statistique (voir section 5.3). En particulier, on pourrait valider un modèle, en l'appliquant à des bases de données existantes sur le fleuve (lac Saint-François, Archipel, futur projet au lac Saint-Pierre) ou ses tributaires (type amont-aval du programme ÉSEE, programme en cours du MENV sur les rivières Boyer, Etchemin et Chaudière). C'est peut-être là où les bases de données existantes seront le plus utiles.

5. Proposition d'une stratégie d'échantillonnage conforme aux exigences du modèle CABIN

Ce qui suit n'est pas un plan d'échantillonnage au sens strict: un tel plan doit être mis au point en fonction des buts précis de l'étude, et dépend fortement des contraintes de cette étude. Cependant, comme certains travaux sont planifiés pour l'été 2004 dans des zones touchées par le projet CABIN au Québec, il est utile de donner ici quelques lignes directrices afin que les échantillonnages envisagés puissent être intégrés en tout ou en partie à une future base de données de référence. L'essentiel des indications sont adaptées de Bailey et al. (2004), et commentées.

5.1 Principes généraux pour établir un modèle CABIN

La modélisation CABIN procède de la manière suivante:

1. Définition des objectifs de l'étude.
2. Détermination de la couverture spatiale et du grain (étendue des sites).
3. Détermination des critères pour des sites de référence acceptables.
4. Détermination de la localisation et du nombre de sites de référence.
5. Choix des descripteurs du benthos et de son environnement.
6. Mise au point d'un système de compilation et de gestion des données.
7. Institution de protocoles de contrôle de la qualité des données.
8. Prise de données dans des sites de référence.
9. Analyse et modélisation des relations entre le benthos et l'habitat.
10. Validation à l'aide de sites de test dont les perturbations sont connues.
11. Utilisation pratique

En définitive, on doit évaluer la déviation d'un site-test par rapport à la **communauté prédite par le modèle** dans un type d'habitat donné, et non seulement par rapport à l'ensemble des sites de référence. Le modèle constitue donc une généralisation des structures de la base de données de référence.

Il est fondamental de s'entendre sur une **définition opérationnelle des buts** de la modélisation CABIN avant tout échantillonnage. "Évaluer la santé d'un milieu" n'est **pas** un but opérationnel, même si c'est le but général recherché. "Dépister des sites dont le benthos est affecté par l'eutrophisation" est un pas dans la bonne direction, pour autant que l'eutrophisation soit le problème écologique important du territoire, et qu'on dispose de mesures d'eutrophisation pour sélectionner les sites de référence (qui devront autant que possible en être dépourvus).

Il faut disposer de variables explicatives **mesurables** qui permettront de sélectionner les sites de référence sans ambiguïté: par exemple, un milieu en santé pourrait être défini dans le contexte du fleuve Saint-Laurent par l'absence de changements brusques et irréguliers de niveau d'eau, une concentration en phosphore total inférieure à un seuil préétabli, des concentrations de

contaminants ne dépassant pas certains seuils critiques, etc. Il est crucial que les partenaires impliqués s'entendent **avant** la prise de données sur les critères à établir, puisque le nombre et l'emplacement des sites potentiels dépendent directement des contraintes imposées dans la définition. Par conséquent, il est inutile aussi de définir un site de référence comme un site "qui n'a subi aucune atteinte à son environnement", puisqu'une telle définition est complètement irréaliste dans notre contexte.

Par ailleurs, le choix des sites de référence ne doit **surtout pas** être basé sur le benthos lui-même, afin d'éviter toute circularité. Le principe de CABIN est empirique: on définit les *conditions environnementales* que l'on considère associées à la présence d'une communauté benthique équilibrée dans une région donnée (en particulier, ici, par *l'absence* de facteurs de stress importants), et ensuite on échantillonne des sites remplissant ces conditions pour obtenir une évaluation de la structure et de la variabilité des communautés. Un site de référence peut représenter le but à long terme qu'on devrait atteindre en termes de qualité. Un but réaliste: dans un contexte où aucun site n'est en condition originale, des sites aux perturbations modérées mais considérées acceptables pourraient servir de sites de référence. En Europe, on a récemment établi les critères de base pour la sélection de sites de référence dans les cours d'eau du Nord de l'Europe (tableau 8) (Nijboer et al., 2004). Une analyse de la pertinence de ces critères dans le contexte du fleuve Saint-Laurent serait pertinente pour établir le choix des sites de référence.

Tableau 8 : Critères utilisés pour la sélection des sites de référence dans les cours d'eau en Europe du nord (European Water Framework Directive) (Nijboer et al., 2004)

	<i>Critères</i>
Cours d'eau	Écoregion Type de cours d'eau Taille du bassin versant
Bassin versant	Plaine d'inondation non cultivée Présence de débris grossiers et de bois noyé Permanence et stabilité du plan d'eau Pas d'aménagement artificiel du chenal et des rives Pas de barrière pour la migration des poissons Pas d'aménagement de protection contre les crues Présence de végétation riparienne naturelle
Hydrologie	Régime hydrologique naturel Pas de diversion des eaux

Écologie	Pas de rétention des sédiments Salinité normale Pas d'introduction d'espèces Régime thermique naturel
Stress	Pas de sources de pollution Pas de source d'eutrophisation Pas d'impacts diffus Pas d'acidification Pas de chaulage

C'est le **site** (et non des prélèvements multiples à l'intérieur des sites) qui constitue le niveau de **réplication**. Cette notion est peut-être difficile à admettre pour des chercheurs habitués à la grande variabilité locale de la faune benthique. Cela ne veut pas forcément dire qu'il ne faille pas faire plusieurs prélèvements dans un site donné. Simplement, il faut se rappeler qu'une expertise CABIN consistera à comparer un site donné à la *variabilité des sites de référence* pour un type d'habitat défini (i.e zone littorale avec ou sans herbiers, sédiments meubles, zone profonde). Le modèle CABIN de référence représente cette variabilité-là, et non un niveau subordonné de variabilité intra-site. Par conséquent, si l'on juge utile de faire plusieurs prélèvements dans un site donné, ces prélèvements devront être combinés en une seule entrée dans la base de données CABIN. Le plus important est d'avoir un assez grand nombre de sites pour chaque type d'habitat représentatif de conditions dites naturelles (sites de référence) et perturbé (sites-tests).

Au-delà de toute considération portant sur le nombre de répliqués, l'étendue du territoire couvert par un modèle, etc., un point crucial est que **l'effort d'échantillonnage doit être le même pour tous les sites d'un habitat type de la base de données de référence** (et bien sûr aussi pour les sites-tests, par la suite). En effet, la perception de la structure et de la variabilité inter-sites dépend fortement du type de prélèvement et de l'intensité d'échantillonnage en un site donné. Il est donc fondamental qu'un protocole général et consensuel soit adopté, et qu'on s'interdise par la suite toute déviation de ce protocole, sous peine d'invalider toute la modélisation. Une conséquence est qu'on ne peut raisonnablement espérer que des données prélevées dans un autre but que la modélisation CABIN puissent accessoirement être intégrées à cette base de données, à moins que leur prélèvement n'ait précisément suivi le protocole mis en place pour CABIN. Incidemment, cela exclut pratiquement *a priori* l'usage de bases de données pré-existantes pour établir des sites de référence.

5.2 Application dans le contexte du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires

La stratégie d'échantillonnage pour la constitution de la base de données de référence CABIN dépendra de la réponse à plusieurs questions importantes. Ici nous posons les questions, dont les réponses devront être fournies par toutes les parties impliquées. Nous ajoutons quelques commentaires et suggestions.

1. **Quelle va être l'étendue géographique des modèles, et le nombre de modèles à prévoir?** Sur le plan écologique, une application globale est impossible, l'échelle spatiale et écologique étant trop vaste (les prédictions d'un modèle unique seraient dans ce cas trop vagues). Un modèle général couvrant tout le système du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires serait beaucoup trop général, principalement en raison du fait que les problématiques de stress environnemental ne sont pas les mêmes pour le fleuve et ses tributaires, et pas non plus les mêmes dans tous les tronçons du fleuve (couloir fluvial, lacs fluviaux). Nous proposons une fragmentation avec plusieurs modèles, selon un découpage régional-écologique. Bailey et al. (2004) suggèrent que le bassin versant constitue une bonne unité de départ. Cependant, il faut tenir compte de l'échelle en cause. Le bassin versant de la rivière Yamaska regroupe peut-être un ensemble assez homogène pour que les problématiques y soient relativement aisées à définir. Peut-être peut-on étendre ce raisonnement à l'ensemble des affluents de la rive sud en zone agricole. Mais il est probablement exagéré de vouloir inclure la totalité du système (en tant que "bassin versant du Saint-Laurent") dans un seul modèle. À l'autre extrémité du spectre, il ne faut pas non plus céder à la tentation de morceler exagérément les modèles. Une limite pratique sera imposée par le fait qu'il faudra plusieurs dizaines, voire des centaines de sites de référence, ce qui serait impossible à trouver dans une aire trop restreinte. On suggère de séparer le fleuve de ses tributaires, de séparer les tributaires de la rive nord de ceux de la rive sud, et enfin de diviser le fleuve lui-même en sous-unités plus homogènes (tels que les lacs fluviaux, rapides, couloir fluvial) **en fonction du faciès écologique et des problématiques environnementales**. Il faudrait cibler les zones littorales, les plus sensibles aux perturbations telles que les variations de niveau d'eau, l'eutrophisation, le remblayage pour n'en citer que quelques unes, comparativement aux zones profondes plus sensibles au dragage. Il faut

insister ici sur le fait que les problématiques environnementales doivent aussi guider les subdivisions (et pas seulement la variabilité naturelle d'ordre écologique, qui sera modélisée), puisque le but de la modélisation CABIN consiste à identifier des sites qui dévient significativement au-delà de l'étendue normale de la "variabilité naturelle" en raison de certains stress environnementaux. Les critères *a priori* pour trouver des sites de référence potentiels devront eux aussi se fonder sur l'absence de stress dus aux facteurs importants dans le territoire délimité pour le modèle.

2. Stratification au sein d'un modèle? Il est fortement recommandé de stratifier l'échantillonnage en fonction des unités écologiques dans le fleuve Saint-Laurent (masses d'eau, herbiers littoraux vs sédiments). Cette stratification sera certainement utile pour s'assurer que l'étendue de variation écologique du territoire concerné par le modèle est bien représentée. En particulier, si un habitat est peu représenté dans un territoire, une stratification par habitat, suivi d'un échantillonnage au sein de chaque habitat (avec un poids par habitat à déterminer) est souhaitable. De même, un échantillonnage de lacs devra être planifié de telle sorte que les trois grands lacs fluviaux du fleuve Saint-Laurent soient représentés. Pour les cours d'eau, une stratification par ordre assurera la représentation de tous les ordres à l'échelle 1:50000.

3. Nombre de sites de référence? Il varie en fonction de l'hétérogénéité du territoire, il n'y a pas de règle générale. Bailey et al. (2004) préconisent un minimum de 25 sites pour une étude pilote, mais cet effectif arbitraire doit être revu pour chaque secteur d'études. Une délimitation judicieuse de la problématique et du territoire, assortie d'une stratification judicieuse aussi, devrait permettre de minimiser le nombre de sites nécessaires pour évaluer la variation naturelle. Si l'échantillonnage est adéquat, sa *représentativité* (au sens statistique) ne sera nullement affectée par le nombre de sites, mais la *précision* de l'évaluation des variables biotiques et abiotiques augmentera avec ce nombre. La représentativité, elle, sera assurée par l'intervention d'une **sélection aléatoire** au sein de la population de sites potentiels définis *a priori*. Si une stratification a été établie, la sélection aléatoire (selon un effort décidé à l'avance) sera faite au sein des strates.

4. **Quelle doit être la taille des sites?** La réponse dépend des types d'habitats (roches, sédiments, végétation) et doit se fonder sur des considérations d'écologie. Sur quelle surface peut-on s'attendre à trouver une communauté raisonnablement homogène? Des études récentes permettent de cerner le problème, en particulier celles menées dans le lac Saint-Pierre (Tessier, 2003) et les études du programme ÉSEE et du MENV. La réponse diffèrera selon qu'on se trouve le long d'un petit ou d'un grand cours d'eau, le long du couloir fluvial ou sur un lac fluvial mais il faut éviter de multiplier les "réplicats" au sein d'un même site. CABIN s'intéresse à la *variabilité entre les sites*. Il vaut donc mieux consacrer l'effort à multiplier les sites dans chaque habitat (ou strate) qu'à multiplier les prélèvements au sein d'un même site. Rappelons que les variables explicatives seront mesurées *par site*: cela veut dire qu'une multiplication des prélèvements au sein d'un site ajoutera à la variabilité totale, mais qu'on ne pourra pas expliquer cette variabilité additionnelle. En ce qui concerne les cours d'eau, Bailey et al. (2004, et références dans le livre) préconisent une longueur de site équivalant à environ 5 à 10 fois la largeur moyenne du cours d'eau, et des sites séparés par au minimum 100 largeurs. Ainsi, le long d'un cours d'eau de 10 m de large on pourra définir des sites de 50 à 100 m de long séparés par 1 km au minimum. Mais les auteurs avertissent que ces règles sont purement empiriques, et ne tiennent pas compte de l'autocorrélation spatiale entre ces sites, dont la portée peut varier considérablement suivant les conditions. Par ailleurs, une telle règle est à l'évidence inapplicable au fleuve... En ce qui concerne les lacs, les auteurs suggèrent une surface minimale d'1 hectare (100 x 100m). Si le lac consiste en un seul bassin de moins de 10ha, il peut être considéré comme le site. Un lac à deux bassins de moins de 10 ha pourrait comporter deux sites, etc.

5. **Taille et type des prélèvements au sein des sites?** Là encore, l'important ici est de se rappeler que les méthodes choisies devront ultimement être appliquées aux sites-tests par les intervenants locaux (pas forcément des spécialistes), et qu'il est donc inutile et même contre-productif de vouloir utiliser des protocoles et techniques complexes de prélèvements. De plus, on se rappellera que vu la variabilité naturelle en cause, il vaut mieux consacrer son budget à multiplier le nombre de sites qu'à accroître la précision des mesures au sein de chaque site.

Dans leur ouvrage, Bailey et al. (2004) citent en exemple les Grands Lacs, dans lesquels les sites de référence ont été définis de la manière suivante:

- ✓ distance maximale de la rive: 10 km;
- ✓ les prélèvements couvrent une surface de 0.25 m², mais représentent des sites d'environ 100 m²;
- ✓ critères *a priori* pour inclusion potentielle dans la base de données de référence: le site se trouve à plus de 10 km d'une source ponctuelle de pollution, et la rive est exempte de développement urbain ou agricole;
- ✓ critères de rejet *a posteriori*: absence totale d'invertébrés, ou 50% de mortalité dans une de 4 espèces utilisées pour des tests (bioessais);
- ✓ localisation: stratification par écodistrict, restrictions sur la profondeur; échantillonnage aléatoire stratifié.

Il existe des techniques de prélèvement du macrobenthos appropriées pour différents types d'habitat (végétation, sédiment) et elles devraient être utilisées dans la mesure du possible si l'on vise un échantillonnage quantitatif. Toutefois, le modèle CABIN se base sur les assemblages de macrobenthos et une évaluation qualitative (en termes de fréquence relative des grands groupes taxinomiques). Il serait donc plus facile d'appliquer une technique de prélèvement plus généralisable (filet troubleau) à l'ensemble des habitats. Dans ce cadre, il serait pertinent de faire une étude comparative des méthodes de prélèvement spécialisés et générale pour les principaux types d'habitats.

6. Nombre de prélèvements au sein de chaque site? Comme dit plus haut, le strict minimum nécessaire pour caractériser le site (soit de 3 à 5), mais pas plus. Et ces prélèvements devront être combinés, puisque la variabilité au sein d'un site se manifeste à un niveau trop fin pour être d'un quelconque intérêt dans le cadre de CABIN.

7. Choix des variables de benthos et des variables environnementales. Pour le benthos, on considère que le niveau de la famille est suffisant pour avoir une bonne description des communautés de macrobenthos et pour permettre d'appliquer des métriques ou des indices biotiques. Toutefois, si l'on désire appliquer des indices de diversité, il faut pousser l'analyse taxonomique au niveau du genre ou de l'espèce, ce qui n'est pas réaliste en termes de coût et de temps pour certains groupes (larves d'insectes aquatiques, oligochètes,

nématodes, ostracodes par exemple). Concernant les variables explicatives, le principe ici est de modéliser la communauté benthique à l'aide de descripteurs environnementaux qui peuvent être à échelle large ou locale. L'idéal est de trouver un ensemble parcimonieux de variables à fort pouvoir prédictif. Bailey et al. (2004) donnent quelques exemples de variables explicatives destinées à la modélisation, avec l'échelle à laquelle ces variables sont mesurées. Le tableau 9 ci-dessous est un extrait traduit de leur tableau 3-2, à titre d'exemple:

Tableau 9 : Variables environnementales utiles pour la modélisation du macrobenthos dans d'autres modèles CABIN

Échelle	Descripteur
Territoire étudié	Aire du bassin versant en proportion du territoire total étudié Proximité du bassin versant avec d'autres bassins versants; Limites partagées Couverture (incluant la végétation) Géologie superficielle et du socle Écorégion Climat: moyennes annuelles, variations saisonnières et pluriannuelles
Bassin versant	Densité de drainage
Site	Localisation (latitude, longitude, altitude, ordre du cours d'eau) Morphologie du site (surface, périmètre, profondeur, volume) Végétation riveraine Producteurs primaires aquatiques...

Il y a cependant une difficulté majeure dans l'approche CABIN telle qu'elle est appliquée actuellement: on ne **doit pas** inclure au modèle explicatif des variables dont l'état est sensible aux stress présents dans la région, et dont on veut justement évaluer l'impact sur le benthos. Par exemple, si un des facteurs de stress du territoire concerné est l'eutrophisation, on ne doit pas inclure au modèle explicatif des variables qui quantifient ce stress, comme par exemple le phosphore total. En effet, si le P total est inclus dans les variables expliquant la dispersion des *sites de référence* (le modèle), alors un site-test dont la communauté benthique est perturbée par une forte quantité de phosphore verra sa structure aisément expliquée par le modèle, qui le considèrera donc comme faisant partie de la variabilité normale. Par contre, un modèle expliquant la structure des communautés de référence sans faire appel au phosphore sera incapable d'expliquer la structure d'un site-test perturbé par l'eutrophisation. Ce site sera donc

considéré comme extrême, et l'explication *a posteriori* pourra être donnée grâce, justement, au phosphore, qui constitue une variable mesurant le stress en question.

Cette manière de faire suscite cependant une critique: lorsque le stress potentiel est dû à des facteurs non naturels, comme par exemple des contaminations aux métaux lourds, l'approche expliquée ci-dessus est adéquate et aisée à appliquer. Les communautés benthiques réagissent relativement peu à de faibles niveaux de concentrations de métaux lourds dans le milieu, et on n'affaiblit guère un modèle explicatif en n'y intégrant pas ces variables. En revanche, lorsque le stress touche un des facteurs structurants fondamentaux de la communauté, même équilibrée (comme la concentration en nutriments), il devient beaucoup plus difficile de bâtir un modèle "neutre" qui ne tienne pas compte de ce facteur tout en présentant une performance adéquate. Il y aurait lieu de travailler à une amélioration de la technique sur ce plan-là.

8. **Qualité des données?** Il est presque trivial d'insister sur le fait que la constitution d'une base de données de référence qui sera le pilier fondamental de toutes les évaluations à venir doit être entourée de précautions afin d'éviter toute erreur grave. Cela englobe la mise au point de l'étude (buts, stratégie d'échantillonnage, analyses statistiques envisagées), sa mise en application sur le terrain et en laboratoire, ainsi que la transcription, l'entreposage et l'analyse des données.

5.3 **CABIN: un modèle qui doit évoluer**

Par ailleurs, une évaluation critique du modèle CABIN et des méthodes statistiques qui lui sont associées est aussi nécessaire. Les quelques commentaires qui suivent traduisent un certain nombre de soucis quant à la manière dont les données CABIN sont actuellement modélisées et traitées. Ils résultent de la lecture de l'ouvrage de Bailey et al. (2004), de la conférence de T. B. Reynoldson à l'Université de Montréal le 9 février 2004, et de la discussion entre T. Reynoldson, P. Legendre et D. Borcard qui a suivi cette conférence.

Le souci concerne principalement la manière dont la modélisation est réalisée. Les étapes sont les suivantes:

- ✓ Données de benthos: transformation, calcul d'une matrice de similarités (Bray-Curtis) et groupement selon l'association moyenne (UPGMA : Unweighted Arithmetic Average Group Average Sorting).
- ✓ Analyse discriminante tentant d'expliquer les groupes à l'aide des variables explicatives.
- ✓ Les sites-tests sont ensuite projetés dans le modèle résultant de l'analyse discriminante afin d'évaluer leur proximité au nuage de points correspondant à la communauté à laquelle ils sont censés appartenir selon leur profil environnemental.

Bailey et al. (2004) justifient de manière très pertinente le fait de modéliser les communautés à l'aide de variables environnementales afin d'évaluer par la suite où devrait se situer une communauté en fonction de l'état de son environnement (indépendamment de perturbations éventuelles). Or, la procédure qu'ils utilisent (décrite ci-dessus) n'est pas optimale, car elle procède de manière indirecte: on groupe d'abord les sites de référence en fonction du benthos, et on cherche ensuite à expliquer *le groupement* à l'aide des variables explicatives de l'habitat. Ces étapes intermédiaires sont inutiles et déforment l'information. Idéalement, on extrait d'abord la variance des données qui peut être expliquée à l'aide des variables environnementales, quitte à, éventuellement, grouper les résultats a posteriori. On a ainsi l'assurance que l'explication est optimale. La technique de base permettant cette optimisation existe: les ordinations canoniques (analyse de redondance [RDA] et analyse canonique des correspondances [CCA]) (Legendre et Legendre, 1998). Nous pensons qu'il faudra prochainement se pencher sur l'idée d'améliorer la modélisation CABIN à l'aide de ces techniques. La démarche serait donc modifiée ainsi:

- ✓ Transformation éventuelle des données de benthos, et ordination canonique sous contrainte des variables explicatives, permettant d'obtenir directement un modèle benthos-environnement.
- ✓ Les sites-tests sont ensuite projetés dans le modèle résultant de l'ordination canonique afin d'évaluer leur proximité au nuage de points correspondant à la

communauté à laquelle ils sont censés appartenir selon leur profil environnemental.

Il ne s'agit là que d'une première esquisse, mais nous insistons sur l'importance de se pencher sur ces améliorations le plus rapidement possible.

6. Recommandations générales

Nous présentons des recommandations vis-à-vis de 1) l'utilisation des bases de données existantes pour tester l'applicabilité d'un modèle de surveillance écologique de type CABIN et 2) une nouvelles stratégie d'échantillonnage pour démarrer un programme de surveillance écologique des sédiments du fleuve Saint-Laurent basé sur la communauté de macrobenthos. Nous ne présentons pas de recommandations sur une stratégie d'échantillonnage sur les tributaires car celle-ci relève des programmes actuels du MENV.

6.1 Utilisation des bases de données existantes sur le macrobenthos du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires

Les bases de données actuelles sur le macrobenthos du fleuve Saint-Laurent ont un potentiel limité pour la définition de sites de références et l'application d'un modèle CABIN. Elles posent plusieurs problèmes compte tenu de l'ancienneté des études, de la diversité des méthodes d'échantillonnage utilisées et des changements intervenus dans le milieu depuis 1985 suite à l'introduction d'espèces exotiques comme la moule zébrée et aux efforts d'épuration des eaux usées et industrielles. Les seules bases de données présentant un potentiel pour tester une approche CABIN sont celles recueillies sur le lac Saint-François en 1989 (Pinel-Alloul *et al.*, 1996; Annexe 1.12) et dans le cadre du projet Archipel (Gravel et Dubé, 1983; Ferraris, 1984; Annexe 1.13). Toutefois, l'état du fleuve, tel que défini par ces bases de données sur le macrobenthos, serait représentatif des conditions antérieures à l'invasion de la moule zébrée et aux efforts de dépollution faits au cours de la dernière décennie. Elle pourraient servir à établir une référence historique des conditions du fleuve avant 1990, conditions qui n'existent plus actuellement. Si l'on

désire faire ce type de bilan historique, on pourrait envisager de combiner les deux banques de données pour avoir une bonne couverture géographique sur l'archipel de Montréal, incluant 3 lacs fluviaux (Saint-François, Saint-Louis, Des deux-Montagnes) dans les deux masses d'eau caractéristiques du fleuve (eaux vertes du Saint-Laurent et eaux brunes de la rivière des Outaouais) et y appliquer un modèle CABIN réactualisé au niveau statistique. Le choix des sites de références et des sites-tests dans la base de données devraient être établies *a posteriori* à partir des études faites à la même époque sur la contamination des sédiments. Ultérieurement, suite à la nouvelle campagne d'échantillonnage projetée sur le lac Saint Pierre à l'été 2004, on pourrait refaire une application du modèle CABIN sur l'ensemble des lacs fluviaux.

Recommandation 1 : Dans le but d'établir les conditions de référence historique du macrobenthos dans le fleuve Saint-Laurent, on recommande d'utiliser les bases de données du lac Saint François et de l'Archipel de Montréal et d'y appliquer un modèle CABIN réactualisé au niveau statistique.

Les banques de données sur le macrobenthos des tributaires du fleuve Saint-Laurent offrent un certain potentiel pour définir des sites de références dans certaines rivières caractéristiques de différents stress environnementaux (Yamaska : milieu agricole; Richelieu : milieu urbain et agricole; Chaudière : milieu agricole et forestier). Les sites non perturbés par d'autres formes de stress environnementaux en amont de l'effluent serviraient de sites de référence tandis que ceux en amont de l'effluent serviraient de sites-tests. De plus les études en cours au MENV sur les rivières Boyer, Etchemin et Chaudière pourraient compléter la base de données.

Recommandation 2 : Dans le but d'établir les conditions de référence du macrobenthos dans les tributaires du fleuve Saint-Laurent caractéristiques des principaux types de perturbations, on recommande d'utiliser les bases de données des rivières Yamaska, Richelieu et Chaudière et d'y appliquer un modèle CABIN réactualisé au niveau statistique.

6.2 Stratégie d'échantillonnage

Compte tenu de la grande complexité physiographique et écologique du fleuve Saint-Laurent, il est utopique d'envisager une campagne d'échantillonnage à grande échelle. On préconise plutôt de cibler les zones littorales des lacs fluviaux où se réalisent la majorité de la production biologique et des interactions trophiques, et de se limiter à court terme à un secteur du fleuve pour établir les conditions de référence du macrobenthos.

Compte tenu que les activités de recherche récentes et futures au GRIL (UdeM, UQAM, UQTR) et à Environnement Canada (Centre Saint-Laurent) visent à développer un réseau de recherche sur le fleuve, nous proposons de limiter en 2004 les efforts d'échantillonnage et d'analyse au lac Saint-Pierre, patrimoine écologique reconnu très sensible aux effets des variations de niveau d'eau et de la pollution agricole diffuse au niveau des tributaires et des rives. Les milieux humides du lac Saint-Pierre constituent à cet égard des sites de choix pour mettre en place un suivi environnemental sur le macrobenthos:

- ✓ Ils constituent des milieux relativement peu perturbés;
- ✓ Ils peuvent être échantillonnés avec des techniques simples;
- ✓ Ils subiront de profonds changements lors de variations importantes du niveau d'eau suite au réchauffement climatique.
- ✓ Le cycle de vie de nombreuses espèces de macroinvertébrés, poissons et d'oiseaux est étroitement associé aux milieux humides et leur valeur est reconnue par le public et les principaux intervenants;

Les cartographies récentes établies par le Centre Saint-Laurent et le MENV sur la distribution des masses d'eau et des herbiers ainsi que sur la contamination des sédiments faciliteront le choix des sites d'échantillonnage (sites de référence et sites-tests). L'expertise technique et taxinomique acquise sur le macrobenthos phytophile de 5 sites du lac Saint-Pierre (M.Sc. Tessier 2002, UdeM), ainsi que les connaissances sur la contamination actuelle du macrobenthos (Ph.D. Cremona, UQAM) seront aussi très utiles.

L'objectif de cette étude à plus grande échelle dans les zones littorales du lac Saint-Pierre serait d'établir l'état actuel de la structure du macrobenthos dans les deux types de masses d'eau (rives nord et sud), sur des substrats meubles et dans la végétation littorale, et ce à la fois dans des sites considérés selon des critères (à définir) comme références et des sites reconnus perturbés par différents stress environnementaux (embouchures de rivières sujettes à la pollution agricole, zones de forte variations de niveau d'eau, zones de remblai, etc.). Le choix final des sites devrait viser à favoriser les contrastes entre les sites de référence et les sites perturbés pour chacun des habitats d'intérêt retenus dans la stratification de l'échantillonnage (masses d'eau, sédiments vs plantes, profondeur de niveau d'eau). Il faudra assurer une bonne concertation entre les études effectuées par le Centre Saint-Laurent, visant plutôt des sites peu perturbés, et celles du MENV, plutôt orientées vers les sites perturbés, afin d'avoir des sites de référence et des sites-tests pour chacun des habitats et des niveaux de stratification définis dans la stratégie d'échantillonnage.

Finalement, sachant qu'un bon réseau de surveillance du macrobenthos doit minimiser les sources de variation au niveau de l'échantillonnage et que différentes techniques s'appliquent selon les types d'habitat, il serait utile de viser à utiliser une méthode simple et généralisable d'échantillonnage (kick sampling, filet troubleau) et de la comparer aux techniques plus spécialisées (bennes, boîtes de prélèvement pour la végétation) sur un sous-ensemble de sites. De plus, il faudra s'assurer de la mise en place d'un protocole de validation et de standardisation de l'analyse taxinomique du macrobenthos en concertation avec le Centre Saint-Laurent, le MENV et des institutions reconnues : Collection Ouellet Robert, UdeM; Insectarium de Montréal, Musée canadien de la nature, OMRC. Dans cette perspective, il faudra établir une collection de référence.

En définitive, nous formulons les recommandations suivantes en vue d'établir une stratégie d'échantillonnage du macrobenthos dans le fleuve Saint-Laurent dans le but de définir son état actuel et d'en suivre son évolution vis-à-vis des principaux stress environnementaux.

Recommandation 3 : Réaliser l'étude et appliquer la stratégie d'échantillonnage à un secteur d'intérêt du fleuve Saint-Laurent, en l'occurrence les milieux humides du lac Saint-Pierre.

Recommandation 4 : Établir une stratégie d'échantillonnage stratifiée de façon hiérarchique selon des types d'habitat (masses d'eau: rive nord vs rive sud; substrats : sédiments meubles, types de végétation; profondeurs : 3 zones distantes de la rive).

Recommandation 5 : Établir le choix des sites de référence et des sites-tests perturbés en se basant sur les cartographies existantes des masses d'eau, de la végétation aquatique, de la profondeur d'eau, de la contamination des sédiments et sur les données historiques. Le choix des sites d'échantillonnage devrait se faire en concertation avec les chercheurs du Centre Saint-Laurent, du MENV et de l'université de Montréal afin de minimiser la duplication des efforts d'échantillonnage. Il devra favoriser le contraste dans chacun des habitats entre les sites de référence et les sites perturbés en fonction des principaux types de perturbation.

Recommandation 6 : Favoriser un grand nombre de sites par habitats, plutôt qu'un grand nombre de répliqués par site, afin d'avoir une bonne description de la variation du macrobenthos entre les différents types d'habitat et d'établir un bon modèle macrobenthos-habitat avec conditions de référence.

Recommandation 7 : Faire l'échantillonnage à la fin de l'été ou au début de l'automne pour avoir une description la plus complète possible de la communauté de macrobenthos. Répéter l'échantillonnage à tous les 3-5 ans et développer ultérieurement le même protocole pour d'autres secteurs du fleuve Saint-Laurent.

Recommandation 8 : Appliquer une technique d'échantillonnage simple et généralisée à l'ensemble des sites tout en faisant en parallèle une étude comparée sur les techniques d'échantillonnage (simples vs spécialisées) dans un sous-ensemble de sites.

Recommandation 9 : Faire l'analyse taxinomique du benthos à la famille en se basant sur le protocole d'analyse en cours au MENV et établir un contrôle de qualité des analyses taxinomiques et une collection de référence.

Recommandation 10 : Développer une approche de suivi avec conditions de référence basée sur une révision du modèle CABIN au niveau statistique.

Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont collaboré à la recherche ou à l'élaboration de ce document. D'abord, il y a le personnel d'Environnement Canada, en particulier Alain Armelin pour sa disponibilité; Isabelle Matteau et Sylvie Sirois du programme ÉSEE ainsi que Linda Poirier du Centre de Documentation qui nous ont permis de retrouver et d'utiliser plusieurs de leurs documents ainsi que François Boudreault et Sonya Banal pour l'élaboration des cartes. Nous tenons à remercier particulièrement Lyne Pelletier et Jacques St-Onge du ministère de l'Environnement du Québec (MENV), qui nous ont fait parvenir tous les documents du programme de surveillance des tributaires ainsi que leurs données ordinées. Le personnel de la bibliothèque EPC-Biologie de l'Université de Montréal nous a permis d'avoir accès à plusieurs documents. Enfin, nous tenons à remercier tous les auteurs ou chargés de programme qui nous ont fait parvenir leurs données colligées ou qui ont bien voulu répondre à nos questions sur leurs recherches. Je voudrais souligner également la collaboration de Trefor Reynoldson, initiateur du programme CABIN, pour avoir présenté une conférence à l'Université de Montréal et discuter de notre projet. Merci également à Claudette Blanchard pour la mise en page de ce document.

Références

- Bailey, R.C., R. H. Norris, and T. B. Reynoldson. 2004. Bioassessment of Freshwater Ecosystems. Using the Reference Condition Approach. Kluwer Academic Publishers. 170 p.
- Beak, T.W. 1973. Étude biologique et benthique du fleuve Saint-Laurent. Tronçon Cornwall-Varenes, 44 p.
- Bombardier, M et C. Blaise, 2000. Comparative Study of the Sediment-Toxicity Index, Benthic Community Metrics and Contaminant Concentrations. Water Quality Research Res. J. Canada, Vol. 35, No 4, 753-780
- Centre Saint-Laurent. 2003. La programmation 2003-2008 du Centre Saint-Laurent. Rapport DA-28. Centre Saint-Laurent, Conservation de l'environnement, Environnement Canada, Région du Québec. Octobre 2003. 32 p.
- Comité aviseur. 1996a. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique des papiers fins de spécialité DOMTAR Beauharnois (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 1.
- Comité aviseur. 1996b. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique des produits forestiers Alliance Donacona (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 1.
- Comité aviseur. 1996c. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique James MacLaren, Thurso (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 1.
- Comité aviseur. 1997a. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique des papiers Cascade Lupel et Désencrage CMD INC. Cap- de- la -Madeleine (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 1.
- Comité aviseur. 1997b. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Tripap Inc Trois-Rivières (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 1.

Comité aviseur. 1997c. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Kruger Inc, Division du papier journal et du papier couché Trois-Rivières (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 1.

Comité aviseur. 1997d. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Kruger Wayagamack Trois-Rivières (Québec) Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 1.

Comité aviseur. 1997e. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique BPCO Division EMCO Pont-Rouge (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.

Comité aviseur. 1997f. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La Fabrique Corporation Stone Consolidated Division Laurentide, Grand-Mère (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.

Comité aviseur. 1997g. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Avenor, Gatineau (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.

Comité aviseur. 1997h. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). Les fabriques Les produits Forestiers E.B. Eddy Ltée, Hull (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 1.

Comité aviseur. 1997i. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Emballages Stone (Canada) Inc. Portage-du-Fort (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 1.

Comité aviseur. 1997j. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La Fabrique Corporation Stone Consolidated Division Bergo Shawinigan (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.

Comité aviseur. 1997k. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Cartons St-Laurent INC. La Tuque (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 1.

Comité aviseur. 1997l. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Désencrage Cascades Breakeyville (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.

- Comité aviseur. 1997m. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Mallette Québec Inc Saint-Raymond (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.
- Comité aviseur. 1997n. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Cascade Kingsey Falls (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.
- Comité aviseur. 1997o. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Abitibi-Price, Papeterie Beaupré, Beaupré (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.
- Comité aviseur. 1997p. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Roland INC., Division des Papiers, Groupe des Papiers Fins, Saint-Jérôme (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.
- Comité aviseur. 1997q. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Cascade East-Angus Inc et Cascades Cartech East-Angus (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.
- Comité aviseur. 2000a. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Spexel (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.
- Comité aviseur. 2000b. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique des produits forestiers Alliance Donacona (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.
- Comité aviseur. 2000c. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Fibres Breaky Inc. Div. Rolland Breakeyville (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.
- Comité aviseur. 2000d. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Mallette Québec Inc Saint-Raymond (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.
- Comité aviseur. 2000e. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Cascade Kingsey Falls (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.

- Comité aviseur. 2000f. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Abitibi-Consolidated Inc. Papeterie Beaupré, Beaupré (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.
- Comité aviseur. 2000g. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Roland Inc., Division des Papiers, Groupe des Papiers Fins, Saint-Jérôme (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.
- Comité aviseur. 2000h. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Cascade East-Angus Inc et Cascades Cartech East-Angus (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.
- Comité aviseur. 2001a. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Tripap Inc. Trois-Rivières (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.
- Comité aviseur. 2001b. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique des papiers Cascade Lupel et Désencrage CMD INC. Cap-de-la-Madeleine (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.
- Comité aviseur. 2001c. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Kruger Inc, Division du papier journal et du papier couché Trois-Rivières (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.
- Comité aviseur. 2001d. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Kruger Wayagamack Trois-Rivières (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.
- Comité aviseur. 2001e. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Bowater, Pâtes et Papiers Canada Inc., Gatineau (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.
- Comité aviseur. 2001f. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). Les fabriques Papiers de Spécialité Eddy LTE et Papiers Scott, Hull (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.
- Comité aviseur. 2001g. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique James MacLaren, Thurso (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.

- Comité aviseur. 2001h. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La fabrique Emballages Smurfit-Stone (Canada) Inc., Division Pontiac, Portage-du-Fort (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.
- Comité aviseur. 2001i. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La Fabrique Abitibi-Consolidated Division Bergo Shawinigan (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.
- Comité aviseur. 2001j. Études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE). La Fabrique Emballages Smurfit-Stone Canada Inc., Divisions Cartons Saint-Laurent, La Tuque (Québec). Rapport d'évaluation du comité aviseur technique. Région de Québec. Cycle 2.
- Cremona Fabien. 2003. Étude post doctorale présentement en cours chez Dolors Planas à UQAM sur la faune phytophile au lac Saint-Pierre.
- de Bruyn, M.H.A. 2001. Sewage and the Ecology of the St-Lawrence River. (Chap. 4) Variable trophic control in a sewage enriched river food web. Doctoral thesis, McGill University, 186 p.
- Delisle, C.E., G. R. Deschamps, L., Blais-Ladouceur, M. Messier et J. Moulins (1981). Impact des métaux lourds dans les sédiments et la faune aquatique de la région industrielle de Beauharnois, Québec, Canada. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 21:1116-1125.
- Dubé, J. 1981. Inventaire des invertébrés benthiques de la rivière Sainte-Anne à la Pérade, Québec, rapport technique n° 6, 121p.
- Demers, R. et H. Levasseur. 1976. Étude de la diversité du benthos Phase 1. Étude sur le fleuve Saint-Laurent. Direction de la connaissance et de la qualité du milieu. 53 p.
- Éco-Recherches. 1974. Étude planctonique et benthique. Étude du fleuve Saint-Laurent. Rapport technique présenté au Groupe de travail Québec-Canada sur le fleuve Saint-Laurent. 164p.
- Ferraris, J. 1984. Synthèse de la variabilité spatio-temporelle des macroinvertébrés benthiques et phytophytes récoltés du 7 avril 1982 au 22 juillet 1983. Élaboration de la clef de potentiel et description des communautés associées aux habitats-types. Rapport technique 34. MLCP, 368 p.

- Ghanimé, L., J. L. DesGranges et S. Loranger. 1990. Les régions biogéographiques du Saint-Laurent. Lavalin Environnement Inc., pour Environnement Canada et Pêches et Océans, région du Québec. Rapport technique. Pagination multiple plus annexes.
- Gravel, Y et J. Dubé. 1983. Méthodologies d'études du milieu biologique dans le cadre du projet Archipel. Rapport technique 6. MLCP, 86 p.
- Jacquaz, B. 1995. Analyse d'échantillons de benthos provenant du lac Saint-Louis. Rapport scientifique et technique (R St-10). Rédigé pour le Centre Saint-Laurent. Conservation de l'environnement, Environnement Canada, Région du Québec, 35p.
- Laferrière, M. et G. Vaillancourt. 1984. Distribution intra-sédimentaire du benthos du Saint-Laurent. Sciences et Techniques de l'Eau, Vol. 17, No2: 179:182p
- Lagacé, M., G. Pageau, et J. Dubé. 1977. Milieux biophysiques, frayères, végétation et invertébrés des sites de travaux de régularisation des eaux de la région de Montréal. MLCP, Vol. 1, 217 p. et Vol. 2 (annexes).
- Legendre, P. et L. Legendre. 1998. Numerical Ecology. Second English Edition. Elsevier, Amsterdam. xv + 853 pages.
- Levasseur, H. 1977. Étude du benthos du fleuve Saint-Laurent. Rapport technique No 10. Rapport soumis au Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent par les services de protection de l'environnement. 201 p + cartes.
- Magnin, E. 1970. Faune benthique littorale du lac Saint-Louis près de Montréal (Québec). Ann. Hydrobiol. 1(2), 181-195.
- Mercier, V. 1998. Relationships between composition and size distribution of invertebrates colonising navigation buoys, and physico-chemical parameters of the St-Lawrence River. Thèse de maîtrise, Université d'Ottawa, 117 p.
- Messier, M. 1981. Contamination des organismes du zooplancton et du zoobenthos de la région de Beauharnois par le mercure, le cadmium, le zinc et l'arsenic. Thèse de maîtrise de l'École Polytechnique de Université de Montréal, 226p.
- Nijboer, R. C., R. K. Johnson, P. F. M. Verdonschot, M. Sommerhäuser and A. Buffagni. 2004. Establishing reference conditions for European streams. Hydrobiologia 516 : 91-105.

- Pelletier, L. et J. St-Onge (1998). Le bassin de la rivière Chaudière: Les communautés benthiques et l'intégrité biotique du milieu, pages 4.1 à 4.43, dans ministère de l'Environnement et de la Faune (éd.), *Le bassin de la rivière Chaudière: l'état de l'écosystème aquatique-1996*, Direction des écosystèmes aquatiques, Québec, Envirodoq no En980022.
- Pelletier, L.(2002). *Le bassin de la rivière Saint-Maurice : les communautés benthiques et l'intégrité biotique du milieu*, 1996, Québec, ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'environnement, Envirodoq n° ENV/2002/0291, rapport n° EA-2002-02, 85 p., 4 annexes.
- Piché, I. 1998. Le bassin de la rivière Richelieu: les communautés benthiques et l'intégrité biotique du milieu, dans *Le bassin de la rivière Richelieu: l'état de l'écosystème aquatique-1995*, ministère de l'environnement et de la faune (éd.), Direction des écosystèmes aquatiques, Québec, Envirodoq no EN980604, rapport no EA-13, section 4.
- Pinel-Alloul, B., G. Méthot et J. Vincent. 1991. Effets des niveaux de contamination des lacs fluviaux du Saint-Laurent sur la structure des communautés benthiques associées à l'interface eau-sédiments et aux macrophytes: Recherche d'indicateurs biologiques. Étude pilote au lac Saint-François, Rapport de recherche pour le Centre Saint-Laurent, 166 p.
- Pinel-Alloul, B., G. Méthot, L. Lapierre et A. Willsie. 1996. Macroinvertebrate Community as a biological indicator of ecological and toxicological factors in Lake Saint-François (Québec). *Environmental Pollution*, Vol. 91, No 1, pp 65-87.
- Reece, P. F., T. B. Reynoldson, J. S. Richardson and D. M. Rosenberg. 2001. Implications of seasonal variation for biomonitoring with predictive models in the Fraser River catchment, British Columbia. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58: 1411-1418.
- Reynoldson, T.B., Norris, R.H., Resh, V.H., Day, K.E., and Rosenberg, D.M. 1997. The reference condition: a comparison of multimetric and multivariate approaches to assess water-quality impairment using benthic macroinvertebrates. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 16: 833-852.
- Reynoldson, T.B., K.E. Day and T. Pascoe. 2000. The development of the BEAST: a predictive approach for assessing sediment quality in the North American Great Lakes. In *Assessing the biological quality of freshwaters. RIVPACS and other techniques*, (editors J.F.

- Wright, D.W. Sutcliffe and M.T. Furse). Freshwater Biological Association, Ambleside, UK. Chapter 11, pp 165-180.
- Reynoldson, T.B., D.M. Rosenberg, and V.H. Resh. 2001. Comparison of models predicting invertebrate assemblages for biomonitoring in the Fraser River catchment, British Columbia. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58 : 1395-1410.
- Reynoldson, T.B., C. Logan, T. Pascoe et S.P. Thompson. 2003. Manuel de Terrain et de Laboratoire de Biosurveillance d'Invertébrés (CABIN: Réseau Canadien de Biosurveillance Aquatique). Institut National de Recherche sur les Eaux. Environnement Canada. 49 p.
- Rosenberg, D.M., and Resh, V.H. 1993. *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman and Hall, New York.
- Rosenberg, D.M., Reynoldson, T.B., and Resh, V.H. 2000. Establishing reference conditions in the Fraser River, British Columbia, Canada, using the BEAST (Benthic Assessment of Sediment) predictive model. In *Assessing the biological quality of freshwaters. RIVPACS and other techniques*, (editors J.F. Wright, D.W. Sutcliffe and M.T. Furse). Freshwater Biological Association, Ambleside, UK. Chapter 12, pp 181-194.
- St-Onge, J. 1999. Le bassin de la rivière Yamaska: les communautés benthiques et l'intégrité biotique du milieu, section 5, dans ministère de l'environnement (éd.), *Le bassin de la rivière Yamaska: état de l'écosystème aquatique*, Québec, Direction des écosystèmes aquatiques, Envirodoq no EA-14.
- St-Onge, J. 1996. *Le bassin de la rivière Châteauguay : les communautés benthiques et l'intégrité biotique du milieu*, Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, Envirodoq n° EN960456, rapport n° EA-8, 46 p., 7 annexes.
- St-Onge, J. et Y. Richard. 1994. Les communautés benthiques du bassin de la rivière l'Assomption et l'intégrité biotique des écosystèmes fluviaux. Québec, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des Écosystèmes aquatiques, Envirodoq n°EN940241, rapport n° QE-88, 105 p., 13 annexes
- St-Onge, J. et Y. Richard. 1996. Le bassin versant de la rivière Saint-François: Les communautés benthiques et l'intégrité biotique du milieu, ministère de l'Environnement et de la Faune (éd.), Direction des écosystèmes aquatiques, Québec, Envirodoq no En960255, rapport no EA-4, 36p +4 annexes

- Tessier, C. 2003. Influence de la structure des habitats végétaux sur les communautés d'invertébrés lacustres. Thèse de maîtrise, Université de Montréal, 137 p.
- Vaillancourt, G. 1968. Indices de la pollution des eaux de la Rivière des Prairies. *Nat Can.* 95: 979-1029.
- Vaillancourt, G. et M. Laferrière. 1983. Relation entre la qualité du milieu et les groupements benthiques dans la zone littorale du Saint-Laurent. *Nat. Can. (Rev. Ecol. Syst.)* 110: 385-396.
- Vincent, B., G. Vaillancourt. 1978. Les groupements benthiques du fleuve Saint-Laurent près des centrales nucléaires de Gentilly (Québec). *Can. J. Zool.*, 56: 1585-1592.
- Vincent, B. 1979. Étude du benthos d'eau douce dans le haut estuaire du Saint-Laurent (Québec). *Can. J. Zool.* 57: 2171-2182.
- Vincent, B. 1981. Profondeur, vase et courant, facteurs de micro-répartition transversale du benthos dans l'estuaire d'eau douce du Saint-Laurent (Québec). *Can. J. Zool.*, 59: 2297-2305.
- Vincent, B., N. Lafontaine et P. Caron. 1982. Facteurs influençant la structure des groupements de macroinvertébrés benthiques et phytophytes dans la zone littorale du Saint-Laurent (Québec). *Hydrobiologia*, 97: 63-73.
- Willsie, A. et G. Costan. 1996. Analyse des communautés benthiques comme indicateur de santé des écosystèmes aquatiques du Saint-Laurent. Environnement Canada. Rapport scientifique et technique ST-44, 68p.

