

Contamination bactériologique des petits cours d'eau en milieu agricole : état et tendances



Photos de la page couverture :

- Le ruisseau du Portage, à proximité de la station d'échantillonnage
(photo : Marie-Julie Laperrière, MDDELCC)
- La rivière Boyer Nord vue de la station d'échantillonnage (photo : Michel Patoine, MDDELCC)
- Amas de fumier dans le bassin versant de la rivière Saint-Zéphirin (photo : Michel Patoine, MDDELCC)
- Échantillonnage de la rivière Boyer Sud (photo : Michel Patoine, MDDELCC)

Ce document peut être consulté sur le site Web du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques au www.mddelcc.gouv.qc.ca

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Auteurs	Michel Patoine François D'Auteuil-Potvin
Révision scientifique	Marc Simoneau Denis Brouillette Jean-Thomas Denault ¹ Philippe Cantin ²
Échantillonnage et suivi auprès des préleveurs d'eau	René Therreault Manon Ouellet
Analyses de laboratoire	Philippe Cantin et son équipe ²
Traitement de données de qualité de l'eau	Mario Bérubé
Cartographie et compilation de données d'utilisation du territoire	Mona Frenette Suzanne Lavoie
Mise en page et graphisme	Claire Cournoyer France Gauthier

¹ Direction des politiques agroenvironnementales

² Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec

Référence bibliographique :

PATOINE, Michel et François D'AUTEUIL-POTVIN, 2015. *Contamination bactériologique des petits cours d'eau en milieu agricole : état et tendances*, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-72699-9 (PDF), 39 pages + 8 annexes.

Mots clés :

Coliformes fécaux, *E. coli*, qualité de l'eau, bassins versants agricoles.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la Direction des politiques agroenvironnementales, la Direction régionale de l'analyse et de l'expertise de l'Estrie et de la Montérégie, les gouvernements du Québec et du Canada (Plan d'action Saint-Laurent Vision 2000), Environnement Canada, Agriculture et Agroalimentaire Canada et la Corporation de l'aménagement de la rivière L'Assomption (CARA) pour leur contribution financière dans le cadre des analyses de qualité de l'eau de certaines stations.

RÉSUMÉ

Depuis 25 ans, un suivi de la contamination bactériologique des petits cours d'eau en milieu agricole a été progressivement mis en place parallèlement aux programmes et règlements sur le contrôle de la pollution d'origine agricole. Les coliformes fécaux (CF), aussi appelés « coliformes thermotolérants » dans la littérature scientifique, ont été retenus comme indicateur du niveau de contamination bactériologique d'origine fécale et du risque de transmission par l'eau d'organismes pathogènes aux humains et aux animaux. Le suivi des CF a été effectué à 51 stations installées dans de petits bassins versants agricoles situés dans différentes régions au Québec. Les données les plus récentes disponibles à ces stations ont été comparées aux critères de qualité de l'eau afin de connaître l'état de la contamination bactériologique des cours d'eau. Les tendances des séries chronologiques d'une durée d'au moins huit années, disponibles à 17 de ces stations, ont également été analysées afin de déterminer l'efficacité des interventions d'assainissement agricole.

L'analyse des données les plus récentes aux 51 stations a montré qu'en période estivale, les concentrations de CF dépassent fréquemment les critères de qualité de l'eau pour les usages récréatifs et agricoles, qui se déroulent essentiellement en été. De plus, les concentrations moyennes annuelles de CF dépassent le critère de 200 UFC/100 ml pour l'eau brute destinée à l'approvisionnement en eau potable aux stations situées en amont hydrologique de prises d'eau potable. En hiver, l'eau est généralement moins contaminée, ce qui suggère un impact moindre des activités agricoles à cette période de l'année, celles-ci se déroulant davantage en été.

L'analyse des tendances linéaires monotones à l'aide de méthodes non paramétriques utilisant la première donnée de chaque mois de l'année a montré une baisse significative des concentrations de CF à près de la moitié des 17 stations. Une seconde analyse des tendances par saison, à l'aide de régressions segmentées, a montré une baisse des CF à seulement six stations en période estivale. Ces baisses estivales, progressives à quatre stations et par saut à deux stations, peuvent être associées, notamment, à un ajout de capacité d'entreposage étanche des déjections animales et au retrait du bétail des cours d'eau. En période hivernale, une baisse des CF a été observée à huit stations, dont cinq ont montré un saut à la date de mise en place d'un traitement des eaux usées domestiques.

Les résultats de la présente étude indiquent en outre que la mise en œuvre des programmes et règlements en agroenvironnement, surtout orientés sur le phosphore depuis 1997, a donné lieu à une certaine baisse des CF, mais que des efforts additionnels devront être consentis en vue d'améliorer la qualité bactériologique des cours d'eau en milieu agricole. Une meilleure connaissance de l'origine et de la nature de la contamination bactériologique contribuerait à améliorer l'efficacité des interventions d'assainissement. De plus, une prise en compte accrue des facteurs climatiques dans l'étude de la contamination bactériologique des petits cours d'eau en milieu agricole aiderait à mieux prévoir les risques sanitaires et l'évolution des besoins en eau pour certains usages, notamment l'irrigation des cultures.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1 MATÉRIEL ET MÉTHODES	2
1.1 Stations d'échantillonnage et occupation du territoire	2
1.2 Échantillonnage et analyses bactériologiques	6
1.3 Méthodes statistiques	6
1.3.1 Relations entre les <i>E. coli</i> et les coliformes fécaux	6
1.3.2 Calcul des dépassements des critères de qualité de l'eau	6
1.3.3 Analyses des tendances temporelles	7
1.3.4 Relations entre les concentrations de CF et l'évolution de l'entreposage ou des cheptels	8
2 RÉSULTATS ET DISCUSSION	8
2.1 Choix des indicateurs de qualité de l'eau et de pression des sources de contamination	8
2.1.1 Indicateurs de qualité de l'eau	8
2.1.2 Indicateurs de pression des sources de contamination des bassins versants	10
2.2 État de la qualité bactériologique des cours d'eau selon les usages	10
2.2.1 Activités récréatives de contact avec l'eau	12
2.2.2 Usages agricoles	13
2.2.3 Production d'eau potable	13
2.2.4 Protection du milieu aquatique et consommation humaine	17
2.2.5 Risque de contamination bactériologique et limite des méthodes employées	18
2.3 Tendances des concentrations de coliformes fécaux	19
2.3.1 Analyse globale pour la période de 1997 à 2013 à l'aide de méthodes non paramétriques	19
2.3.2 Analyse par saison pour la période de 1990 à 2013 à l'aide d'une méthode paramétrique	21
2.3.3 Analyse par saison pour la période de 1990 à 2013 à l'aide de régressions logistiques	31
2.3.4 Efficacité des interventions d'assainissement	32
CONCLUSION	35
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	35

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 Nombre de têtes et production de coliformes fécaux par unité animale	40
Annexe 2 Occupation du territoire et assainissement des eaux	41
Annexe 3 Fréquence d'échantillonnage par projet	44
Annexe 4 Données relatives au dépassement des seuils de coliformes fécaux	45

Annexe 5	Rapports entre les <i>E. coli</i> et les coliformes fécaux dans les petits cours d'eau en milieu agricole.....	46
Annexe 6	Suivi bactériologique au ruisseau du Portage à l'été 2003 et 2004.....	48
Annexe 7	Contamination bactériologique d'un couvert de glace enlevé d'un réservoir à lisier.....	50
Annexe 8	Références bibliographiques des annexes.....	51

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Description des stations d'échantillonnage et des petits bassins versants	4
Tableau 2	Changement moyen annuel de l'entreposage, du cheptel et de l'accès du bétail aux cours d'eau selon la période.....	5
Tableau 3	Critères et recommandations pour les indicateurs de la qualité bactériologique de l'eau selon les usages	11
Tableau 4	Tendances des concentrations de coliformes fécaux pour la période de 1997 à 2013	20
Tableau 5	Concentrations saisonnières de coliformes fécaux pour la période de 1997 à 2013	22

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Emplacement des bassins versants et des stations d'échantillonnage.....	2
Figure 2	Dépassement des seuils de CF en été aux stations situées sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent pour la période de 2006 à 2010 (de 2009 à 2013 aux 10 stations suivies d'un astérisque)	14
Figure 3	Dépassement des seuils de CF en été aux stations situées sur la rive nord du fleuve Saint-Laurent et à l'île d'Orléans (régions hydrographiques 04, 05, 06 et 12) pour la période de 2006 à 2010 (de 2009 à 2013 aux deux stations suivies d'un astérisque).....	15
Figure 4	Dépassement des seuils de CF en été aux stations des régions hydrographiques 02 – Saint-Laurent sud-est et 05 – Saint-Laurent nord-ouest pour la période de 2003 à 2005 (de 1999 à 2001 aux quatre stations suivies d'un astérisque)	15
Figure 5	Dépassement de la valeur seuil de 1 000 UFC/100 ml en hiver (données les plus récentes depuis 2006, sauf aux six stations suivies d'un astérisque, où les données datent de 1999 à 2005)	16
Figure 6	Concentration moyenne des CF aux stations des petits tributaires et aux stations des rivières correspondant aux prises d'eau potable en aval	17
Figure 7	Tendances des coliformes fécaux aux stations de la rivière Boyer et du ruisseau du Portage, selon la saison.....	25
Figure 8	Tendances des coliformes fécaux aux stations de la rivière Boyer Sud, selon la saison	26
Figure 9	Tendances des coliformes fécaux aux stations des rivières Boyer Nord et Bras d'Henri, selon la saison	27
Figure 10	Tendances des coliformes fécaux aux stations du ruisseau Runnels et de la rivière du Sud-Ouest, selon la saison	28
Figure 11	Tendances des coliformes fécaux aux stations des ruisseaux Walbridge et Ewing, selon la saison	29

Figure 12	Tendances des coliformes fécaux aux stations des ruisseaux du Point du Jour et Saint-Pierre, selon la saison	30
Figure 13	Effet de l'ajout de capacité d'entreposage des déjections animales sur la diminution des CF aux stations de la rivière Boyer, pour la période de 1990 à 1997.....	32

INTRODUCTION

Les déjections des animaux d'élevage contiennent des quantités importantes de microorganismes dont certains sont pathogènes. Leur présence dans l'eau présente un risque pour la santé humaine et animale. Ces microorganismes se trouvent dans les eaux de surface à la suite du rejet direct des déjections par le bétail ayant accès aux cours d'eau, des écoulements en provenance des amas de fumier et du ruissellement ou du drainage des parcelles d'épandage et des pâturages (CAC, 2013). Les coliformes fécaux (thermotolérants) ou les bactéries *Escherichia coli* (*E. coli*) sont utilisés comme indicateur de suivi de la contamination microbienne d'origine fécale dans les eaux de surface depuis plusieurs années par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). Ils sont rejetés en quantité importante par les animaux à sang chaud et les humains. Les coliformes fécaux (CF) sont composés en majeure partie d'*E. coli*, plus spécifiques de la contamination fécale, mais peuvent aussi comporter d'autres bactéries naturellement présentes dans l'environnement.

Dans les bassins versants agricoles, les eaux usées des résidences isolées ou des municipalités peuvent également être rejetées, avec ou sans traitement, et contribuer à la contamination microbienne des cours d'eau. Celle-ci peut de plus être causée par la faune. Divers facteurs, comme la proximité des points d'eau, la pente du terrain, la végétation et la période de l'année, peuvent influencer la contamination.

Le Programme d'assainissement des eaux du Québec, lancé en 1978, a favorisé la construction de stations d'épuration qui permettent de traiter les eaux usées d'un nombre important de municipalités et d'industries. Deux règlements, adoptés en 1981, visaient respectivement le traitement des eaux usées des résidences isolées et la prévention de la pollution des eaux par les établissements de production animale. La mise en place du Programme d'aide à l'amélioration de la gestion des fumiers (PAAGF) en 1988 a, quant à elle, accéléré la mise aux normes de l'entreposage des déjections animales. Ces mesures ont permis au Ministère d'observer une amélioration globale de la qualité bactériologique de l'eau des rivières au Québec de 1988 à 1998 (MDDEP, 2000). Une étude sur l'incidence des politiques et des programmes d'assainissement agricole sur la qualité de l'eau de six rivières de 1988 à 1995, réalisée par Gangbazo et Painchaud (1999), a montré, dans trois d'entre elles, une baisse significative des concentrations de CF de 12 à 48 % attribuée à l'entreposage étanche des déjections animales. Malgré ces baisses enregistrées, la contamination bactériologique est toutefois demeurée présente.

D'autres mesures ayant le potentiel de réduire la contamination microbienne ont été mises en place par la suite. L'entrée en vigueur, en juillet 1997, du Règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole (RRPOA) (GOQ, 1997), appuyé par un programme d'aide financière (Programme d'aide à l'investissement en agroenvironnement [PAIA], puis Prime-Vert), visait prioritairement à réduire la pollution diffuse par le phosphore. Les plans agroenvironnementaux de fertilisation (PAEF) y ont été introduits comme un moyen de diminuer la pollution associée aux épandages de déjections animales, en plus des obligations relatives à l'entreposage étanche, qui y ont été reconduites. Le Règlement sur les exploitations agricoles (REA), adopté en juin 2002 (RLRQ, chapitre Q-2, r.26), a modernisé le RRPOA en vue d'améliorer son contrôle. L'interdiction, à compter d'avril 2005, de donner accès aux animaux aux cours d'eau y a été ajoutée. Parallèlement à cette nouvelle réglementation, des suivis de la qualité de l'eau de petits tributaires agricoles ont été mis en place.

La première partie de ce rapport vise à présenter l'état actuel de la qualité microbienne des petits cours d'eau en milieu agricole par rapport aux usages réels ou potentiels. À cette fin, les données de CF les plus récentes disponibles à 51 stations de qualité d'eau sont comparées aux critères de qualité de l'eau existants. La seconde partie du rapport a pour objectif de vérifier l'impact des programmes et règlements sur l'évolution de la contamination microbienne des petits cours d'eau. Pour ce faire, les tendances des valeurs de CF provenant des séries chronologiques d'au moins huit années, disponibles à 17 stations, sont étudiées par rapport aux changements documentés dans les bassins versants.

1 MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1 Stations d'échantillonnage et occupation du territoire

Un suivi de la qualité bactériologique des petits cours d'eau en milieu agricole a été effectué à 51 stations d'échantillonnage installées dans une vingtaine de bassins versants primaires situés dans six régions hydrographiques du Québec. Ces stations se trouvent dans les provinces naturelles des basses-terres du Saint-Laurent, des Appalaches et des Laurentides méridionales et centrales (figure 1). Elles drainent de petits bassins versants dont la superficie varie de 3 à 202 km². La période de suivi de la qualité de l'eau à ces stations se situe entre 1990 et 2013. La durée de l'échantillonnage varie, selon les stations, de trois années à deux décennies (tableau 1).

Aux 51 stations, les données de CF les plus récentes disponibles (période 2009-2013 à 12 stations, 2006-2010 à 30 stations et 2003-2005 à 9 stations) ont été comparées aux critères de qualité de l'eau du MDDELCC afin de caractériser l'état de la contamination bactériologique des petits tributaires. À 17 de ces stations, où la durée du suivi de la qualité de l'eau est d'au moins huit ans, les données des séries chronologiques ont été utilisées pour déterminer les tendances des concentrations de CF et rechercher des liens avec les interventions d'assainissement réalisées dans les bassins versants en amont de ces stations.

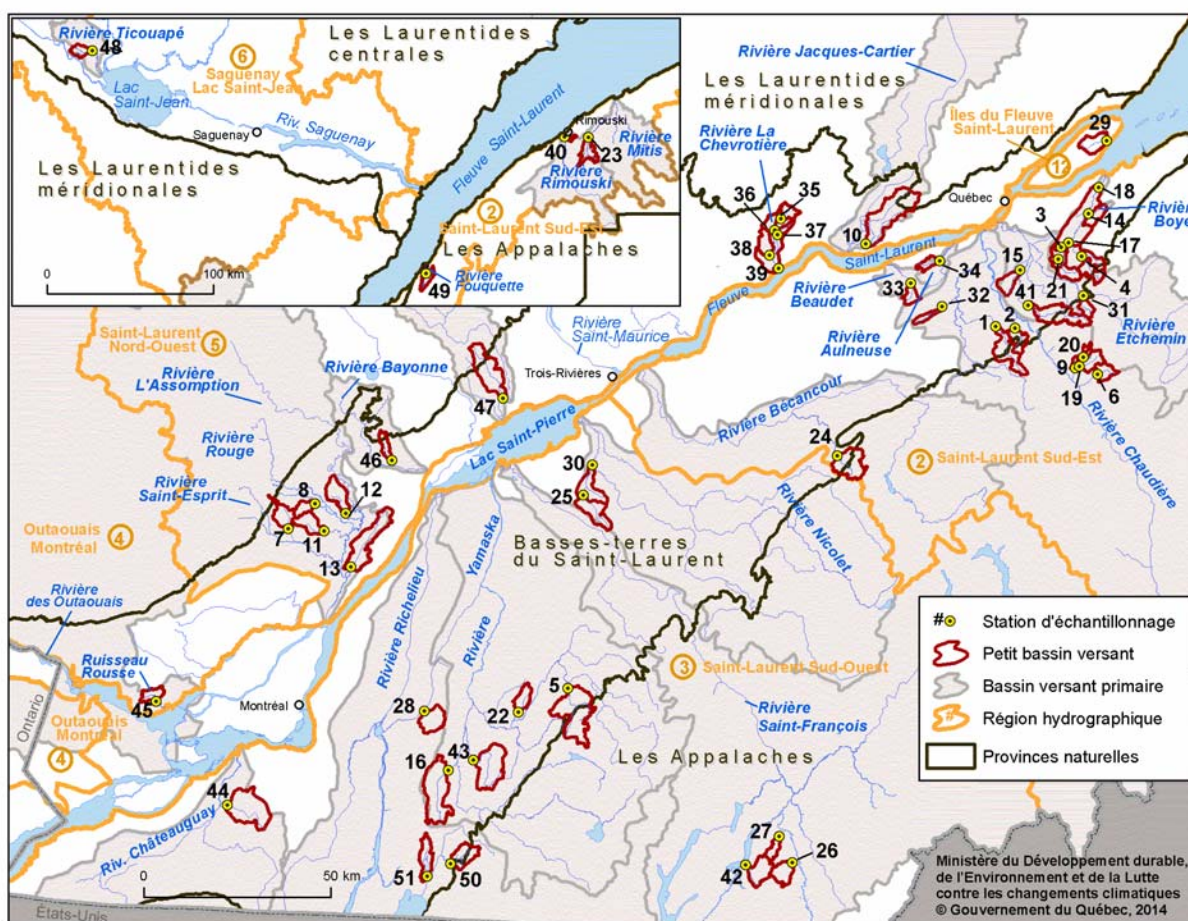


Figure 1 Emplacement des bassins versants et des stations d'échantillonnage

Les petits bassins versants drainés aux 51 stations supportent des densités animales de 5 à plus de 300 unités animales (UA) par kilomètre carré et des densités humaines de 2 à plus de 100 habitants par kilomètre carré. Le tableau 1 présente les superficies drainées à chaque station ainsi que les densités animales en 2006 et les densités des populations humaines dont les eaux usées sont rejetées dans les petits bassins versants en 2007. Les densités animales et humaines ont été obtenues en divisant le nombre d'animaux et de personnes du petit bassin versant par la superficie de celui-ci indiquée au tableau 1.

La densité animale et la densité humaine constituent des indicateurs valables de la pression des CF produite par les élevages et les résidents sur la qualité bactériologique de l'eau dans un bassin versant (Patoine, 2011). La production journalière de CF ou d'*E. coli* provenant des déjections fraîches correspond à environ $10 \log_{10}$ (UFC) par unité animale pour les principaux élevages (bovin, porcin, ovin, volaille) (annexe 1) et à environ $9 \log_{10}$ (UFC) par personne (Geldrieck, 1978). Les variations locales des pratiques agricoles (entreposage, traitement, épandage, pâturage) et de la conformité des installations septiques peuvent toutefois influencer le lien entre ces indicateurs de pression et le risque de contamination. Les apports de la faune et des animaux de compagnie ne sont pas considérés dans la densité animale, mais pourraient aussi avoir une influence, quoique jugée minime.

L'annexe 2 (tableau A2a) présente, pour chacun des petits bassins versants, les données de densité animale de 1991 à 2006 ainsi que celles d'accès du bétail aux cours d'eau depuis 2003. Les densités animales indiquées au tableau 1 et à l'annexe 2 ont été calculées à l'aide des nombres d'animaux par municipalité du Recensement de l'agriculture de Statistique Canada pour les années 1991, 1996, 2001 et 2006, en attribuant au bassin versant la proportion du territoire (agricole et non agricole) de la municipalité présente dans celui-ci. Ce mode de répartition des élevages, basé uniquement sur un ratio de superficie, entraîne une imprécision lorsque cette répartition n'est pas uniforme dans la municipalité. Cette imprécision peut être importante, surtout dans les plus petits bassins versants. Les données par municipalité du Recensement de l'agriculture de 2011 de Statistique Canada n'ont pu être utilisées pour les compilations par bassin versant en raison d'un problème de compatibilité. L'accès du bétail aux cours d'eau a été déterminé à l'aide de l'information répertoriée dans le Système d'aide à la gestion des opérations (SAGO) concernant les visites ferme par ferme réalisées entre 2003 et 2005 et les visites de suivi effectuées entre 2007 et 2010 par le MDDELCC. L'information au sujet des visites de suivi postérieures à 2010 était insuffisante pour réaliser une compilation. La conversion des nombres d'animaux en unités animales s'est faite à l'aide des facteurs présentés à l'annexe 1.

Les densités humaines dans les petits bassins versants pour les années 1992, 1996, 2001 et 2007 et l'information disponible sur le traitement des eaux usées municipales et la conformité des installations septiques des résidences isolées sont aussi présentées à l'annexe 2 (tableaux A2b et A2c). Les densités humaines ont été obtenues à l'aide des populations par municipalité du Répertoire des municipalités du Québec des années correspondantes, en attribuant au bassin versant la proportion du nombre de résidences de la municipalité présente dans celui-ci. Les nombres de résidences ont été obtenus de la Base de données topographiques du Québec (BDTQ). Les densités humaines présentées à l'annexe 2 indiquent l'évolution de la densité de la population située dans les limites des petits bassins versants. Celles présentées au tableau 1 correspondent plutôt à la population dont les eaux usées sont rejetées dans les petits bassins versants, une correction ayant été apportée pour soustraire les populations situées dans le bassin versant, mais dont les eaux usées se déversent hors de celui-ci et ajouter celles de l'extérieur dont les eaux usées contaminent le bassin versant.

Le tableau 2 présente, pour les stations où le suivi de la qualité de l'eau est d'au moins huit années (retenues pour l'étude des tendances temporelles), les changements annuels moyens, exprimés en UA par kilomètre carré, relativement à l'ajout de capacité d'entreposage étanche des déjections animales, à la variation du cheptel et à la baisse d'accès du bétail aux cours d'eau pour différentes périodes. Un ajout de capacité d'entreposage ou une réduction du cheptel ou de l'accès du bétail aux cours d'eau dans un bassin versant constituent des changements qui devraient favoriser une baisse des CF à la station de suivi de la qualité de l'eau. L'expression des changements annuels moyens en UA par kilomètre carré permet d'établir une base commune de comparaison entre les stations, les périodes et les variables agricoles ainsi qu'avec les changements annuels des concentrations de CF.

Tableau 1 Description des stations d'échantillonnage et des petits bassins versants

Bassin versant primaire	Cours d'eau	Numéro de station figure 1	Numéro BQMA ^a	Période	SBV ^b (km ²)	DA 2006 ^c (UA/km ²)	DH 2007 ^d (hab./km ²)
Mitis	Petite rivière Neigette	23	02190010	2006-2008	98	12	11
Rimouski	Levasseur	40	02200022	2007-2009	23	7	35
Fouquette	Fouquette	49	02E90002	1997-2013	55	34	11
Boyer	Boyer	18 (inclut 17, 3, 14)	02300001	1990-2013	202	103	23
	Boyer Sud	17 (inclut 4)	02300002	1990-2013	65	137	19
	Boyer Nord	3 (inclut 21)	02300003	1990-2013	36	137	20
	Du Portage	14	02300004	1993-2009	17	65	18
	Honfleur	4	02300005	1991-2006	23	142	18
	Grillade	21	02300013	1997-2000	4	98	22
Etchemin	Saint-Patrice	15	02330029	2002-2006	21	48	20
	Du Moulin Bernier	31	02330048	2006-2009	14	79	8
	Le Bras	41	02330050	2007-2009	53	96	23
Chaudière	Des Îles Brûlées	2	02340086	1997-2009	22	321	45
	Turmel	19	02340091	1998-2002	7	88	21
	Binet	20	02340092	1998-2003	3	74	15
	Belair	9 (inclut 20)	02340093	1998-2002	30	66	14
	Morency	6	02340098	1999-2005	18	56	9
	Bras d'Henri	1	02340099	1999-2013	47	239	15
	Laflamme	32	02340119	2006-2009	10	55	26
	Bourret	33	02350002	2006-2009	14	24	16
Bécancour	Bourbon	24	02400048	2006-2013	51	38	9
Aulneuse	Des Moulanges	34	02500001	2006-2009	12	22	20
Nicolet	Saint-Zéphirin	30 (inclut 25)	03010046	2009-2013	77	64	13
	Saint-Zéphirin amont	25	03010086	2006-2009	40	51	13
Saint-François	Brook	42	03020065	2007-2009	35	42	11
	Veillette	26	03020388	2006-2009	27	61	7
	Bradley	27	03020389	2006-2009	13	57	8
Yamaska	Runnels	5	03030008	1997-2013	98	77	12
	À la Barbue	43	03030110	2007-2009	70	179	34
	Du Sud-Ouest	16	03030237	1995-2008	91	117	18
	Des Aulnages	22	03030253	2001-2010	21	109	13
Richelieu	Walbridge	50	03040066	1998-2013	29	95	13
	Ewing	51	03040073	2001-2013	31	71	11
	À l'Ours	28	03040195	2006-2009	35	22	19
Châteauguay	De l'Esturgeon	44	03090018	2007-2009	96	20	29
Outaouais	Rousse	45	04310084	2007-2009	17	9	50
Chevrotière	Le Grand Bras amont	35	05050096	2004-2008	14	5	2
	Le Grand Bras	36 (inclut 35)	05050097	2004-2008	26	11	2
	Le Petit Bras	37	05050098	2004-2008	7	19	26
	Du Moulin	38	05050099	2004-2008	20	25	133
	La Chevrotière	39 (inclut 35 à 38)	05050100	2004-2009	106	19	28
Jacques-Cartier	Aux Pommes	10	05080053	2001-2006	95	12	45
L'Assomption	Du Point du Jour	13	05220063	1997-2006	71	14	65
	Vacher	11	05220239	1997-2013	29	46	81
	Saint-Pierre	12	05220240	1997-2008	33	28	90
	Saint-Esprit	7	05220241	1997-2008	28	81	31
	Desrochers	8	05220249	1999-2005	15	40	31
Bayonne	Bibeau	46	05240014	2007-2009	15	39	13
Du Loup	Chacoura	47	05280053	2007-2009	67	65	15
Ticouapé	Rouge	48	06200004	2007-2009	62	19	35
Île d'Orléans	Dauphine	29	12020001	2006-2008	27	24	2

a : Numéro de station, Banque de données sur la qualité du milieu aquatique;

b : SBV = superficie du bassin versant, selon ArcMap 9.3;

c : Densité animale pour l'année 2006 en unités animales par kilomètre carré ;

d : Densité humaine de la population dont les eaux usées sont rejetées dans le bassin versant pour l'année 2007 en habitants par kilomètre carré.

L'ajout de capacité d'entreposage a été déterminé en additionnant, par bassin versant, les UA des lieux d'élevage comportant la construction d'un ouvrage d'entreposage étanche au cours de la période de suivi de la qualité de l'eau à chaque station (indiquée au tableau 1) et en divisant ce total par le nombre d'années du suivi et la superficie drainée à la station. L'année de construction des ouvrages d'entreposage et les UA des visites ferme par ferme des lieux d'élevage, répertoriées dans le SAGO, ont été utilisées à cette fin. Les UA des lieux d'élevage caractérisés par plus d'une année d'entreposage conforme ont été distribuées également chaque année. Un ajout de capacité d'entreposage peut être associé à une augmentation du cheptel ou à un nouvel élevage.

La variation du cheptel a été calculée, pour les périodes de 1991 à 1996 et de 1996 à 2006, par la différence entre la densité animale à la fin et au début de la période divisée par la durée de la période, à l'aide des données par municipalité de Statistique Canada compilées par bassin versant à l'annexe 2. Cette variation n'a pu être évaluée pour la période de 2006 à 2011. Toutefois, les données par division de recensement de Statistique Canada permettent de calculer une baisse moyenne annuelle de la densité animale de 0,5 à 2,4 UA/km² au cours de cette période dans les municipalités régionales de comté (MRC) touchant aux bassins versants, ce qui suggère une baisse probable dans les bassins versants étudiés.

La baisse d'accès du bétail aux cours d'eau a aussi été calculée à l'aide des données de l'annexe 2, par la différence entre les densités animales des périodes 2008-2010 et 2003-2005 divisée par une durée de 10 ans. La période de référence de 10 ans utilisée pour calculer la moyenne annuelle de la baisse d'accès du bétail aux cours d'eau s'étend de 2000 à 2010. Pour ce calcul, les changements dans l'accès du bétail aux cours d'eau survenus avant 2003 (non répertoriés) sont considérés comme négligeables, puisque les obligations réglementaires et les incitatifs par le moyen de programmes ou de documents techniques sont apparus par la suite. Ces changements d'avant 2003 touchent l'évolution de certains cheptels (bovins, ovins) ou de la gestion d'élevage (proportion d'animaux gardés au bâtiment à l'année).

Tableau 2 Changement moyen annuel de l'entreposage, du cheptel et de l'accès du bétail aux cours d'eau selon la période

Numéro BQMA ^a	Cours d'eau	Ajout de capacité d'entreposage (UA/km ² /an) ^b		Variation de cheptel (UA/km ² /an) ^c		Baisse d'accès du bétail au cours d'eau (UA/km ² /an) ^d
		1990-1997	1997-2013	1991-1996	1996-2006	2000-2010
02E90002	Fouquette		1,4		0,03	1,09
02300001	Boyer	4,2	3,4	-2,78	2,03	0,31
02300002	Boyer Sud	5,9	4,5	-6,15	2,71	0,53
02300003	Boyer Nord	3,6	4,0	-3,81	3,77	0,09
02300004	Du Portage	2,4	3,7	1,21	1,19	0,55
02300005	Honfleur	3,1	7,4	-7,41	1,13	1,06
02340086	Des Îles Brûlées		4,4		-3,44	1,03
02340099	Bras d'Henri		4,6		-1,71	0,96
03030008	Runnels		1,1		-1,39	0,00
03030237	Du Sud-Ouest	5,8	2,7	nd	0,83	0,00
03030253	Des Aulnages		4,8		-3,69	0,01
03040066	Walbridge		1,2		1,91	1,82
03040073	Ewing		1,2		0,42	0,00
05220063	Du Point du Jour		0,3		-0,25	0,04
05220239	Vacher		0,5		-0,37	0,00
05220240	Saint-Pierre		0,1		-0,12	0,11
05220241	Saint-Esprit		0,0		0,89	0,00

a : Numéro de station, Banque de données sur la qualité du milieu aquatique;

b : Le nombre d'unités animales provient du SAGO. La période couvre les années où un suivi de la qualité de l'eau a été effectué;

c : Le nombre d'unités animales provient de Statistique Canada. Une valeur négative indique une baisse du cheptel;

d : Le nombre d'unités animales provient du SAGO.

Les changements apportés après 2010 n'ont pu être compilés en raison d'une information insuffisante dans le répertoire du SAGO. Toutefois, l'essentiel des changements sont survenus entre 2003 et 2010 et seuls quatre bassins versants (Bras d'Henri, des Îles Brûlées, Runnels et du Sud-Ouest) ont encore des UA répertoriées avec accès aux cours d'eau (annexe 2).

1.2 Échantillonnage et analyses bactériologiques

Les échantillons d'eau ont été prélevés à une fréquence d'une fois par deux semaines à une fois par mois, selon les stations et les années, en fonction des différents projets (annexe 3).

Le prélèvement des échantillons d'eau pour l'analyse des CF et des *E. coli* était effectué à l'aide d'une bouteille stérilisée. Les échantillons ont été conservés dans des glacières contenant des blocs réfrigérants jusqu'à leur arrivée au Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ), où ils ont été analysés dans un délai ne dépassant pas 48 heures après l'échantillonnage.

Les analyses ont été faites par filtration sur membrane d'une porosité de 0,45 µm avec incubation pendant 24 heures à 44,5 °C, en utilisant le milieu m-FC dans le cas des CF (APHA, AWWA et WEF 1998; méthode MA. 700 – Fec.Ec 1.0 du CEAEQ [2014]) et le milieu mTEC modifié dans le cas des *E. coli* (méthode MA. 700 – Ec-mTEC 1.0 du CEAEQ [2006]). Jusqu'en mars 2003, les volumes filtrés étaient de 50, 10 et 1 ml, ce qui permettait de mesurer une gamme de valeurs de 2 à 6 000 unités formatrices de colonies (UFC) par 100 ml. D'avril 2003 à décembre 2013, les volumes filtrés ont été ajustés (10, 1 et 0,1 ml), ce qui a rendu possible la mesure d'une gamme de valeurs de 10 à 60 000 UFC par 100 ml pour les CF. Dans le cas des *E. coli*, la limite analytique supérieure est de 8 000 ou 80 000 UFC par 100 ml, selon la dilution.

Les résultats d'analyse ont été validés et intégrés dans la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA) de la Direction du suivi de l'état de l'environnement du MDDELCC.

1.3 Méthodes statistiques

1.3.1 Relations entre les *E. coli* et les coliformes fécaux

La proportion des CF constitués d'*E. coli* a été déterminée à l'aide des données de ces deux paramètres mesurées à 36 stations à l'intérieur de la période de février 2004 à juin 2009. Deux tests non paramétriques inclus dans le logiciel SigmaStat, version 3.10 pour Windows, de Systat Software inc. (SigmaStat) ont été utilisés, soit celui de Mann-Whitney pour vérifier si la médiane des rapports *E. coli*/CF était significativement différente entre les saisons estivale et hivernale ou entre deux périodes pour une même station et celui de Kruskal-Wallis pour vérifier si cette médiane variait entre les stations pour une même saison. Une régression linéaire orthogonale forcée à l'origine a aussi été utilisée pour estimer le rapport *E. coli*/CF, en utilisant toutes les données non censurées (de 10 à 60 000 UFC/100 ml). Ce type de régression a été retenu parce que l'erreur expérimentale de l'estimation des *E. coli* est du même ordre de grandeur que celle des CF. La pente de la droite de régression orthogonale a été obtenue à l'aide de la relation présentée par Beijl et autres (2008).

1.3.2 Calcul des dépassements des critères de qualité de l'eau

Les pourcentages de dépassement des critères de qualité de l'eau du MDDELCC (MDDEFP, 2013) pour les activités de contact direct (200 UFC/100 ml), les activités de contact indirect et la salubrité générale de l'eau (1 000 UFC/100 ml) ainsi que pour l'irrigation (100 UFC/100 ml) ont été calculés distinctement pour la saison estivale (de mai à octobre) et la saison hivernale (de novembre à avril), à l'aide des valeurs de CF mesurées toutes les deux semaines, lorsque disponibles, ou mensuellement, dans les autres cas. Les dépassements du seuil de 10 UFC/100 ml, qui correspond au niveau problématique pour l'abreuvement

du bétail selon USDA (2009) et Fournier (1999), ont été déterminés à l'aide des mêmes valeurs de CF. La période et le nombre de valeurs de CF utilisées par saison pour le calcul de ces pourcentages de dépassement sont présentés à l'annexe 4.

Les dépassements des critères de qualité du MDDELCC (MDDEFP, 2013) applicables à l'eau brute destinée à l'approvisionnement en eau potable lorsque cette eau fait l'objet d'un traitement par filtration (200 UFC/100 ml) ou non (20 UFC/100 ml) ont été vérifiés à l'aide de la moyenne arithmétique mobile la plus élevée des premières valeurs de CF de chaque mois obtenues pendant 12 mois consécutifs aux 51 stations. La période de référence utilisée pour le calcul de cette moyenne mobile a varié selon les stations en fonction des données les plus récentes disponibles (annexe 4). Seule la première valeur de chaque mois a été retenue afin de conserver un poids égal aux données de CF, dont la fréquence était moindre en hiver. Pour les mois où aucune valeur de CF n'était disponible, une valeur nulle a été retenue. De plus, lorsque le résultat était supérieur à la limite analytique de la méthode ($> 6\,000$ ou $> 60\,000$ UFC/100 ml), la valeur de la limite (valeur censurée) était retenue. La moyenne obtenue à l'aide de valeurs censurées ou nulles indique un dépassement certain si elle est supérieure au critère. Par contre, une moyenne inférieure au critère obtenue à l'aide de telles valeurs ne dénote pas nécessairement le respect du critère.

Comme 25 des 51 stations sont situées en amont hydrologique d'une prise d'eau potable, les dépassements des critères de qualité ont aussi été vérifiés aux stations situées dans les rivières à l'emplacement de ces prises d'eau potable ou, si le réseau ne compte pas de station correspondant à une prise d'eau, à l'endroit le plus représentatif. À une prise d'eau (Nicolet), la moyenne des CF de trois stations (Nicolet, Nicolet Sud-Ouest et Saint-Zéphirin situées à environ 13 km en amont), pondérée en fonction de la superficie drainée, a été retenue. La période de référence utilisée pour le calcul de la moyenne mobile de CF s'étend, dans le cas des stations relatives aux prises d'eau, de 2011 à 2013.

1.3.3 Analyses des tendances temporelles

Au total, 17 stations pour lesquelles des séries chronologiques continues de CF étaient disponibles pour une période minimale de huit ans ont été retenues pour l'analyse des tendances, au cours de la période de 1997 à 2013, à l'aide de méthodes non paramétriques sans correction pour le débit. Les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS, version 9.1 (SAS Institute, 2003), selon la procédure décrite dans Patoine et D'Auteuil-Potvin (2013). Cette procédure utilise la première donnée de chaque mois de l'année et sélectionne le test statistique approprié selon la présence ou non de saisonnalité ou d'autocorrélation dans la série chronologique. Elle est conçue pour détecter des tendances linéaires monotones, c'est-à-dire dont le taux de changement est constant dans le temps et toujours croissant ou décroissant. Un seuil de 5 % a été retenu pour considérer une tendance comme significative.

Afin de mettre davantage en évidence l'effet des interventions dans les bassins versants sur les valeurs de CF, une analyse de tendances par saison a également été réalisée aux 17 stations à l'aide de méthodes paramétriques qui supportent des données discontinues ou présentant des changements brusques ou non constants dans le temps. Les données de CF antérieures à 1997, disponibles à six stations, ont été retenues pour cette analyse plus détaillée. Des tests de tendances à l'aide de régressions linéaires segmentées ont été réalisés, pour les saisons estivale (de mai à octobre) et hivernale (de novembre à avril), en considérant les données supérieures à 6 000 UFC/100 ml censurées à droite et les données inférieures à 10 UFC/100 ml censurées à gauche, à l'aide du programme LIFEREG de SAS. Un point de rupture possible de la pente a été fixé en juillet 1997 en raison de l'effet possible sur le taux de changement des CF des différences, avant et après la mise en vigueur du RRPOA, non seulement dans l'évolution de l'entreposage et des densités animales (tableau 2) mais également dans la gestion des apports de déjections animales au champ. Un saut possible de l'ordonnée à l'origine (baisse subite de CF) a aussi été fixé à la date de mise en exploitation d'une usine d'épuration des eaux usées dans le bassin versant (janvier 2000 pour Honfleur en amont des stations 02300005 et 02300002; février 2004 pour Sainte-Brigide-d'Iberville en amont de la station 03030237). Un saut possible a de même été retenu à la date de mise en place du système de traitement des eaux usées domestiques (novembre 2006), qui se déversaient auparavant sans traitement en amont immédiat de la

station 02300004. Pour les tests statistiques, les valeurs de CF ont été transformées en logarithme (ln) afin d'assurer la normalité des données et seule la première donnée de chaque mois a été retenue afin d'éviter une autocorrélation temporelle des données. Les pentes et les sauts non significatifs ont été éliminés par la méthode de régression pas à pas descendante. Les pentes de deux segments non significativement différentes ont également été regroupées en une seule pente. Pour considérer les tendances significatives, un seuil de probabilité (p) de 5 % a été retenu ($p < 0,05$).

Une analyse préliminaire réalisée à l'aide des données disponibles pour la période de 1990 à 2010 (résultats non présentés) avait montré que la date des sauts fixés à la date de mise en exploitation d'un traitement des eaux usées correspondait aussi à celle obtenue à l'aide du logiciel DETECT (Cluis, 1989). Cette analyse avait de plus permis de montrer la présence d'un saut en janvier 2005 dans le cas du ruisseau Saint-Pierre, toujours à l'aide du logiciel DETECT.

Afin de confirmer les résultats des deux premières analyses de tendances et de vérifier si les pourcentages de dépassement des valeurs des seuils ont évolué au cours de la période de suivi de la qualité de l'eau et sont les mêmes selon le seuil de CF, une analyse de régression logistique en fonction du temps a aussi été réalisée à l'aide du programme PROC LOGISTIC (fonction Logit) de SAS pour les saisons estivales et hivernales distinctement. Les valeurs des seuils de CF retenues sont 1 000, 200 et 100 UFC/100 ml. Comme dans les autres analyses de tendances, les premières valeurs de CF du mois ont été utilisées pour cette analyse complémentaire. Aux stations où la présence d'un saut devait être testée, une variable dichotomique a été ajoutée. Les variables non significatives au seuil de 5 % ont été éliminées successivement en commençant par les moins significatives.

1.3.4 Relations entre les concentrations de CF et l'évolution de l'entreposage ou des cheptels

L'évolution des concentrations de CF en période estivale et hivernale a été mise en relation, à l'aide de régressions linéaires simples et de corrélations de Pearson, avec les changements dans l'entreposage et les cheptels, pour la période antérieure à juillet 1997, aux cinq stations de la rivière Boyer. Celles-ci étaient les seules disponibles pour cette analyse. La station de la rivière du Sud-Ouest n'a pas été retenue pour l'analyse en raison du faible nombre de données de CF. Les données postérieures à 1997 n'ont pas non plus été retenues compte tenu, notamment, de l'information incomplète sur les densités animales, dont l'augmentation peut atténuer l'effet de l'ajout de capacité d'entreposage.

La baisse de CF mise en relation avec l'ajout de capacité d'entreposage avant juillet 1997 aux stations de la rivière Boyer a été déterminée par la différence entre la concentration de CF estimée au début et à la fin de la période de suivi, à l'aide du segment de la période de 1990 à 1997 obtenu à la suite du premier pas des régressions pas à pas descendantes en saison estivale et hivernale (qui avaient été réalisées à l'aide des données disponibles pour la période de 1990 à 2010).

2 RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.1 Choix des indicateurs de qualité de l'eau et de pression des sources de contamination

2.1.1 Indicateurs de qualité de l'eau

Les CF, plus récemment désignés par l'appellation « coliformes thermotolérants » dans la littérature scientifique, et la bactérie *E. coli* ont été retenus comme indicateurs d'une contamination bactériologique récente ou constante d'origine fécale des cours d'eau dans la présente étude. Leur intérêt comme indicateurs réside dans le fait qu'ils sont toujours présents dans l'intestin des humains et des animaux à sang chaud et qu'ils sont éliminés en grande quantité dans les matières fécales. Ils sont habituellement

sans risque pour les humains et peuvent être dénombrés par des techniques de laboratoire relativement simples (CEAEQ, 2014). De plus, leur survie dans l'environnement équivaut généralement à celle des bactéries pathogènes potentiellement présentes dans les matières fécales, comme *Salmonella*, *Campylobacter* ou encore la souche O157:H7 de la bactérie *E. coli*. Les CF contenus dans les matières fécales sont surtout des bactéries *E. coli*, plus spécifiques de la contamination fécale, mais peuvent aussi comporter d'autres bactéries thermotolérantes également présentes naturellement dans l'environnement comme *Klebsiella*, *Enterobacter* et *Citrobacter*. Les suivis des *E. coli* effectués sur une courte période à la plupart des stations permettent de connaître leur pourcentage dans les CF.

Les *E. coli* mesurés à 36 des 51 stations durant une à cinq années selon la station, de février 2004 à juin 2009, ont représenté entre 43 et 100 % des CF selon la station, sur la base de la médiane des rapports *E. coli*/CF (annexe 5). Ce rapport ne présente pas de différence significative au seuil de 5 % entre l'été et l'hiver ni entre les stations, sauf à quelques-unes d'entre elles. La régression orthogonale (entre les valeurs de CF et de *E. coli*) forcée à l'origine donne une pente de 0,78, ce qui suggère qu'en moyenne, 78 % des CF sont des *E. coli* (annexe 5). Les rapports *E. coli*/CF obtenus sont du même ordre de grandeur que ceux présentés dans la littérature pour les eaux de surface. Par exemple, dans leur étude portant sur 28 stations, Rasmussen et Ziegler (2003) ont trouvé que les *E. coli* représentaient de 48 % à 96 % des CF selon les stations, avec une moyenne globale de 77 %.

L'analyse plus poussée des données aux trois stations où le suivi des *E. coli* s'est fait durant la période de cinq années au complet (d'avril 2004 à mars 2009) montre un rapport *E. coli*/CF de 25 à 40 % plus faible, selon la station, après avril 2006. Les contrôles entre les laboratoires canadiens ont montré que les valeurs d'*E. coli* sont toujours un peu plus basses que la moyenne des essais d'aptitude, quoique dans la norme, alors que les résultats de CF sont toujours corrects (communication personnelle de P. Cantin, 2011), ce qui suggère une plus grande stabilité de cet indicateur au cours des années. Plusieurs idées ont été explorées pour expliquer cette observation, tant du point de vue du terrain que du laboratoire, mais il n'a pas été possible de trouver d'explication satisfaisante.

Les CF dans les cours d'eau échantillonnés incluent donc non seulement les bactéries *E. coli*, spécifiques de la flore intestinale des animaux à sang chaud, mais aussi potentiellement certaines souches d'autres bactéries thermotolérantes qui se trouvent dans l'environnement. La bactérie *Klebsiella* est notamment présente en quantité importante dans le bran de scie, utilisé comme litière pour plusieurs élevages (Zdanowicz, 2002), et peut aussi être excrétée dans les fèces bovines (Munoz et autres, 2006). Le transport de cette bactérie dans les cours d'eau par ruissellement à la suite de l'épandage des fumiers de bovins pourrait contribuer à expliquer la variabilité dans le rapport *E. coli*/CF observé.

Les CF constituent, malgré tout, un indicateur valable de la contamination bactériologique d'origine fécale des cours d'eau en milieu agricole, notamment pour les études de tendances, en raison de leur stabilité au cours des années, mais aussi pour la comparaison avec les critères de qualité de l'eau exprimés en fonction de cet indicateur. Parce qu'elles sont plus caractéristiques de la contamination fécale, les bactéries *E. coli* sont aussi un indicateur utile, notamment pour des études spécifiques et pour la comparaison avec les critères établis en fonction de cet indicateur.

En raison de leur capacité à indiquer une contamination fécale, les CF et l'*E. coli* constituent en outre des indicateurs de la présence possible de microorganismes pathogènes dans l'eau (CEAEQ, 2014). Dans une étude sur les corrélations entre les indicateurs de contamination fécale et les microorganismes pathogènes obtenues pendant 40 ans, Wu et autres (2011) concluent d'ailleurs que les CF et *E. coli* sont des indicateurs utiles d'une contamination récente de l'eau et, par le fait même, d'un risque pour la santé lié à la présence possible de microorganismes pathogènes lorsque les matières fécales proviennent de sujets malades ou infectés. Ils précisent qu'étant donné la différence entre les indicateurs et les microorganismes pathogènes, une approche incluant des indicateurs d'une contamination récente en plus d'un indicateur d'une contamination à plus long terme, comme *Clostridium perfringens*, serait la plus appropriée pour le suivi et l'évaluation de la qualité microbiologique de l'eau.

2.1.2 Indicateurs de pression des sources de contamination des bassins versants

Les sources potentielles des bactéries indicatrices de contamination fécale retenues (CF et *E. coli*), dans les bassins versants étudiés, sont principalement les déjections des animaux d'élevage ainsi que les eaux usées des populations humaines. D'autres sources comme la faune et les animaux de compagnie peuvent aussi être présentes, quoique d'un plus faible poids relatif.

Les microorganismes potentiellement pathogènes et les bactéries indicatrices contenus dans les matières fécales peuvent être excrétés directement dans les cours d'eau par le bétail ou la faune qui y ont accès. Un rejet direct peut aussi survenir à la suite d'écoulements en provenance d'amas de fumiers ou de systèmes d'entreposage non étanches, ou encore de déversements d'eaux usées domestiques non traitées. Ces microorganismes et bactéries peuvent aussi être transportés vers les cours d'eau, à la suite d'épandages sur les terres agricoles, lors du ruissellement de surface ou de l'écoulement des drains souterrains provoqués par les précipitations.

L'apport de bactéries indicatrices en provenance d'un bassin versant est difficile à localiser en raison de la diversité des sources de contamination bactériologique et de la complexité des mécanismes de transport impliqués. La compilation de données sur les sources de contamination est toutefois nécessaire pour aider à comprendre les résultats de qualité bactériologique des cours d'eau obtenus aux diverses stations et à mettre en œuvre des moyens d'action appropriés. Pour ces raisons, des variables simples comme la densité animale et la densité humaine des bassins versants, proposées par Patoine (2011), ont été retenues comme un indicateur général de la pression des élevages et des humains.

D'autres variables liées aux apports bactériologiques, comme l'ajout de capacité d'entreposage et la baisse d'accès du bétail aux cours d'eau, ont également été compilées pour les bassins versants qui présentaient des séries chronologiques permettant l'étude des tendances de la qualité de l'eau. L'information disponible sur les rejets et les traitements d'eaux usées municipales ainsi que sur les installations septiques de résidences non raccordées à un réseau d'égout est aussi présentée en annexe.

2.2 État de la qualité bactériologique des cours d'eau selon les usages

Afin de caractériser l'état actuel de la contamination bactériologique des petits cours d'eau au Québec, les résultats de deux indicateurs de la qualité bactériologique de l'eau (CF et *E. coli*) mesurés dans le cadre de divers projets ont été retenus. Les données de CF les plus récentes disponibles à 51 stations répertoriées dans la BQMA ont été comparées aux critères et recommandations associés aux divers usages de l'eau présentés au tableau 3. Les données de *E. coli* mesurées à 36 stations ont été utilisées pour valider la pertinence des CF comme indicateur de contamination fécale dans les petits tributaires. Les classifications du programme Environnement-Plage du MDDELCC (s.d.) et du Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (RLRQ, chapitre Q-2, r. 35.2) (GOQ, 2014), basées sur les seuils de *E. coli*, sont aussi présentées au tableau 3, à titre indicatif.

Dans le cas des activités de contact direct et indirect, les dépassements des valeurs seuils des critères de qualité de l'eau du MDDELCC (MDDEFP, 2013) sont considérés pour chaque date d'échantillonnage et un pourcentage de dépassement est calculé distinctement pour la saison estivale et hivernale. Il en va de même pour les valeurs seuils des usages agricoles (irrigation et abreuvement). Dans le cas du critère pour l'eau brute destinée à l'approvisionnement en eau potable lorsque l'eau fait l'objet d'un traitement par filtration, la valeur seuil est comparée à la moyenne arithmétique des échantillons sur 12 mois consécutifs.

Tableau 3 Critères et recommandations pour les indicateurs de la qualité bactériologique de l'eau selon les usages

Type de seuil	Usage visé	Seuil (UFC/100 ml)	Référence
Critère	Contact indirect (ex. : pêche) Salubrité générale des eaux	CF : 1 000	MDDEFP (2013)
Critère	Contact direct (ex. : baignade)	CF : 200	MDDEFP (2013)
Critère	Eau brute traitée par filtration Eau brute non traitée par filtration	CF : 200 (ou <i>E. coli</i> : 150) ^a CF : 20 (ou <i>E. coli</i> : 15) ^b	MDDEFP (2013)
Critère	Irrigation des cultures	CF : 100	MDDEFP (2013)
Niveau problématique	Abreuvement du bétail	CF : 10	USDA (2009), Fournier (1999)
Classification des plages	Baignade – eau polluée Baignade – qualité passable Baignade – qualité bonne Baignade – qualité excellente	<i>E. coli</i> : > 200 <i>E. coli</i> : de 101 à 200 <i>E. coli</i> : de 21 à 100 <i>E. coli</i> : ≤ 20	MDDELCC (s. d.)
Règlement (vulnérabilité des eaux de surface)	Eau brute – vulnérabilité élevée Eau brute – vulnérabilité moyenne Eau brute – vulnérabilité faible	<i>E. coli</i> : > 150 <i>E. coli</i> : de 15 à 150 <i>E. coli</i> : < 15	GOQ (2014)

a : Ce critère pour l'eau brute destinée à l'approvisionnement en eau potable lorsque cette eau fait l'objet d'un traitement par filtration s'applique à la moyenne arithmétique des échantillons (moyenne mobile la plus élevée sur 12 mois consécutifs, établie à partir d'une période d'au moins 36 mois);

b : Pas plus de 10 % des échantillons ne doivent dépasser ce seuil.

Les figures 2, 3 et 4 présentent, pour différentes régions hydrographiques, le pourcentage de dépassement des seuils correspondant aux critères et recommandations pour les CF mesurés en été (de mai à octobre) aux 51 stations. La figure 5 montre le pourcentage de dépassement du seuil de 1 000 UFC/100 ml en hiver (de novembre à avril) aux 32 stations concernées par de tels dépassements. La période considérée pour les deux saisons ainsi que le nombre de données utilisées pour le calcul des dépassements sont présentés à l'annexe 4. La période est comprise entre les années 2006 à 2010, sauf à 12 stations où des données postérieures à 2010 sont disponibles (période de 2009 à 2013 retenue) ainsi qu'à la figure 4, qui présente les résultats aux stations où les données les plus récentes disponibles couvraient la période de 2003 à 2005 ou de 1999 à 2001. Ces données antérieures à 2006 pourraient ne plus représenter la situation actuelle à certaines stations étant donné l'évolution des variables du territoire liées à la contamination bactériologique.

La figure 6 illustre, aux stations situées en amont de prises d'eau potable, la moyenne arithmétique des échantillons sur 12 mois consécutifs la plus élevée pour la période de 36 mois la plus récente compte tenu des données disponibles. La valeur obtenue aux stations correspondant à des prises d'eau potable est également présentée pour la période de 2011 à 2013 lorsque les données sont disponibles.

L'annexe 4 indique également, par station, le nombre de valeurs de CF plus élevées que 6 000 ou 10 000 UFC/100 ml mesurées entre 2006 et 2013, qui indiquent un risque bactériologique très élevé à certaines dates, dans le cas de cours d'eau qui seraient utilisés pour un usage ou l'autre (tableau 3). Les conditions dans lesquelles ces valeurs plus élevées se manifestent sont discutées. Ces valeurs influencent fortement les moyennes arithmétiques des CF, utilisées notamment pour la vérification du respect du critère pour l'eau brute.

Les valeurs annuelles d'*E. coli* mesurées à certaines stations ont été comparées à un seuil provisoire de référence environnementale proposé par Edge et autres (2012).

2.2.1 Activités récréatives de contact avec l'eau

Le seuil de 1 000 UFC/100 ml n'a été dépassé dans aucun des échantillons des stations de la Petite rivière Neigette et des ruisseaux Saint-Esprit et Morency en période estivale ou hivernale, ce qui signifie que l'eau y est généralement salubre à l'année et que les activités récréatives de contact indirect, comme la pêche estivale ou le canotage, peuvent y être pratiquées de façon sécuritaire. Ce seuil a toutefois été franchi dans 6 % à 85 % des échantillons en été (de mai à octobre) aux 48 autres stations (figures 2 à 4) et dans 3 % à 53 % des échantillons en hiver (de novembre à avril) à certaines autres stations (figure 5). À sept stations en été et à une autre en hiver, plus de la moitié des échantillons ont dépassé ce seuil. L'origine probable de cette contamination fécale à ces huit stations est principalement humaine, comme des résidences isolées comportant des installations septiques déficientes (Le Petit Bras, Saint-Patrice) ou une agglomération résidentielle (Saint-Zéphirin amont, du Sud-Ouest, à l'Ours, du Moulin, Saint-Pierre), ou agricole ponctuelle (Le Petit Bras) ou encore indéterminée (des Aulnages). La contamination provient surtout de l'amont rapproché des stations.

Depuis 2006, des dépassements de plus de six fois le seuil de 1 000 UFC/100 ml ont été observés à 31 des 42 stations où des analyses de qualité d'eau ont été effectuées en période estivale et à 3 stations en hiver (annexe 4), ce qui indique la présence d'un risque de contamination bactériologique très élevé à certaines dates, surtout en été, lors de la pratique d'une activité de contact avec l'eau. Une meilleure connaissance des conditions dans lesquelles ces concentrations plus élevées se manifestent et des usages dans les différents tributaires aiderait à mieux gérer le risque bactériologique.

Le critère de qualité de l'eau pour les activités récréatives de contact direct a été dépassé dans plus de 50 % des échantillons à 37 des 51 stations, ce qui signifie qu'une activité comme la baignade ne peut être pratiquée de façon sécuritaire dans ces cours d'eau. Aux 14 autres stations, les dépassements de ce critère, quoique moins fréquents, indiquent un risque potentiel pour les activités de contact direct à certaines dates. Le manque de connaissance sur les conditions dans lesquelles la valeur seuil de 200 UFC/100 ml est dépassée empêche de gérer efficacement le risque afférent à ces activités. Soulignons toutefois que le potentiel de baignade est limité dans la plupart des cours d'eau échantillonnés en raison du faible niveau d'eau au cours des mois de juin à août, qui ne permet pas une immersion complète.

La Direction du suivi de l'état de l'environnement (DSEE) répertorie certains lieux d'usage dans le Système de gestion des informations à référence spatiale (Atlas SYGIRS). Celui-ci fait mention de lieux de pêche sportive situés dans les rivières Boyer et Boyer Sud et le ruisseau Vacher. La pêche sportive se pratique aussi dans la rivière Bourbon (Plan directeur de l'eau 2009 de la rivière Bécancour) ainsi que dans plusieurs autres petits cours d'eau en milieu agricole. Des projets de réhabilitation ou d'amélioration de la qualité de l'habitat de certaines espèces de poissons, comme l'omble de fontaine dans les rivières Belair (MAPAQ, 2010) et Le Bras (Brochu, 2011), ainsi que des activités de pêche en ville, par exemple dans la rivière Boyer Sud, montrent l'intérêt de récupérer ou de maintenir cet usage. Le canotage est moins fréquent dans les petits cours d'eau en raison de leur faible profondeur. Cette activité est constatée seulement dans les rivières Le Bras et Boyer (Atlas SYGIRS), mais peut être présente dans certains des autres cours d'eau étudiés.

Aucune plage publique dans les cours d'eau échantillonnés n'est répertoriée dans l'Atlas SYGIRS. La baignade se pratique cependant dans certains d'entre eux à titre privé, ce qui montre un intérêt potentiel pour cet usage.

La contamination bactériologique des cours d'eau étudiés contribue également à la contamination bactériologique des rivières situées en aval de ceux-ci, dont plusieurs supportent des activités récréatives de contact avec l'eau. La DSEE (Atlas SYGIRS) a notamment relevé la pratique de la pêche sportive

dans les rivières Bayonne et du Loup ainsi que du canotage dans la rivière du Loup, ces rivières recevant respectivement les eaux du ruisseau Bibeau et de la rivière Chacoura.

2.2.2 Usages agricoles

Les petits cours d'eau servent de plus à des fins agricoles, pour l'irrigation des cultures ou l'abreuvement du bétail. Comme ces usages se déroulent essentiellement en période estivale, la qualité bactériologique de l'eau au cours de cette période est particulièrement importante. Le critère de qualité de l'eau pour l'irrigation a été dépassé dans plus de 50 % des échantillons à 43 des 51 stations. À seulement une station (Petite rivière Neigette), plus de la moitié des valeurs de CF étaient sous le niveau problématique pour l'abreuvement du bétail. Le MDDELCC possède peu d'information sur l'emplacement des prises d'eau utilisées pour l'irrigation ou l'abreuvement du bétail en raison de l'absence d'inventaire systématique.

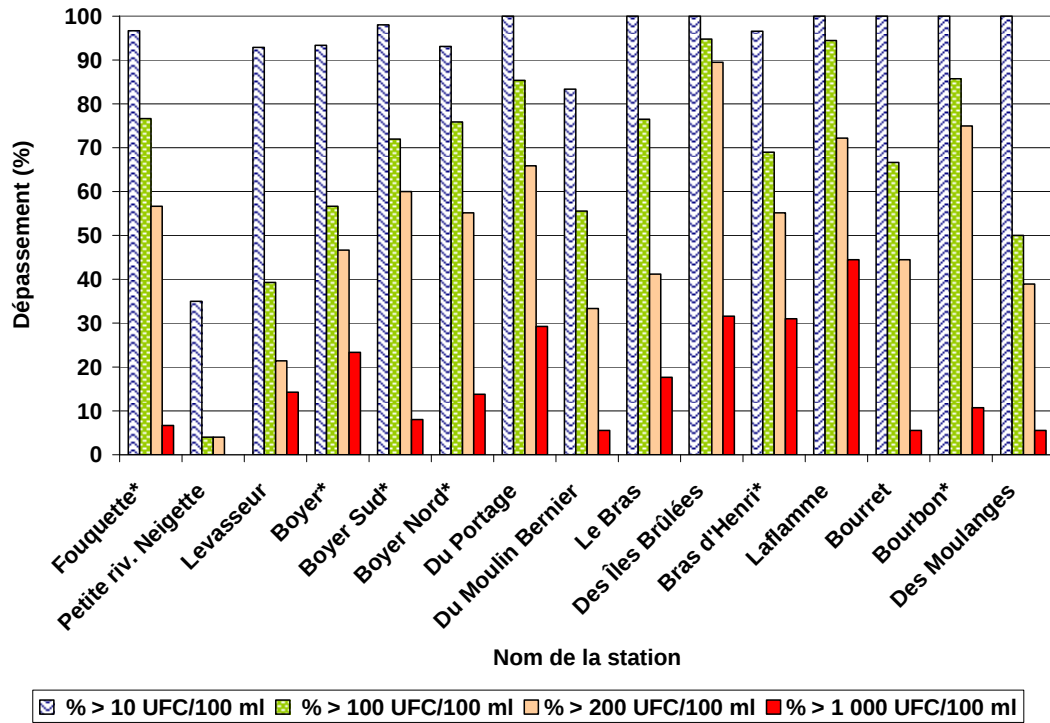
Le caractère souvent temporaire et mobile des prises d'eau pour l'irrigation les rend difficiles à répertorier. Seulement l'une d'entre elles, située dans le ruisseau du Point du Jour, a été consignée par la DSEE (Atlas SYGIRS). Or, au Québec, l'irrigation est pratiquée par quelque 1 200 fermes (Recensement de l'agriculture de 2011 de Statistique Canada) principalement à l'aide de l'eau de surface non traitée, dans les régions où les cultures maraîchères et de petits fruits sont présentes (Statistique Canada, 2013a et 2013b). Ces cultures se trouvent surtout dans les régions hydrographiques 03 (Saint-Laurent sud-ouest) et 05 (Saint-Laurent nord-ouest). Elles couvrent plus de 5 % du bassin versant des ruisseaux du Point du Jour, Vacher, Saint-Esprit et Desrochers et de la rivière Dauphine et plus de 1 % du bassin versant des rivières à la Barbie, du Sud-Ouest, de l'Esturgeon, aux Pommes et Chacoura et du ruisseau à l'Ours. Elles sont aussi pratiquées dans le bassin versant des rivières Boyer, Boyer Nord et La Chevrotière et des ruisseaux Runnels et Saint-Pierre. Ces cours d'eau sont donc susceptibles d'être utilisés pour l'approvisionnement en eau d'irrigation.

L'utilisation de l'eau aux fins d'irrigation constitue en outre un sujet délicat et préoccupant en milieu agricole, en raison de la rareté de cette ressource en période de sécheresse, qui pourrait s'accroître dans un contexte de changements climatiques, et des exigences de salubrité des aliments, qui requièrent une eau de qualité. Le développement récent de normes par l'industrie, comme CanadaGap, et la réalisation de 65 projets d'aération des étangs d'irrigation dans le cadre du programme Prime-Vert de 2010 à 2015 (statistiques du programme Prime-Vert du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ, 2015)) sont des initiatives qui visent à diminuer le risque lié à l'eau d'irrigation.

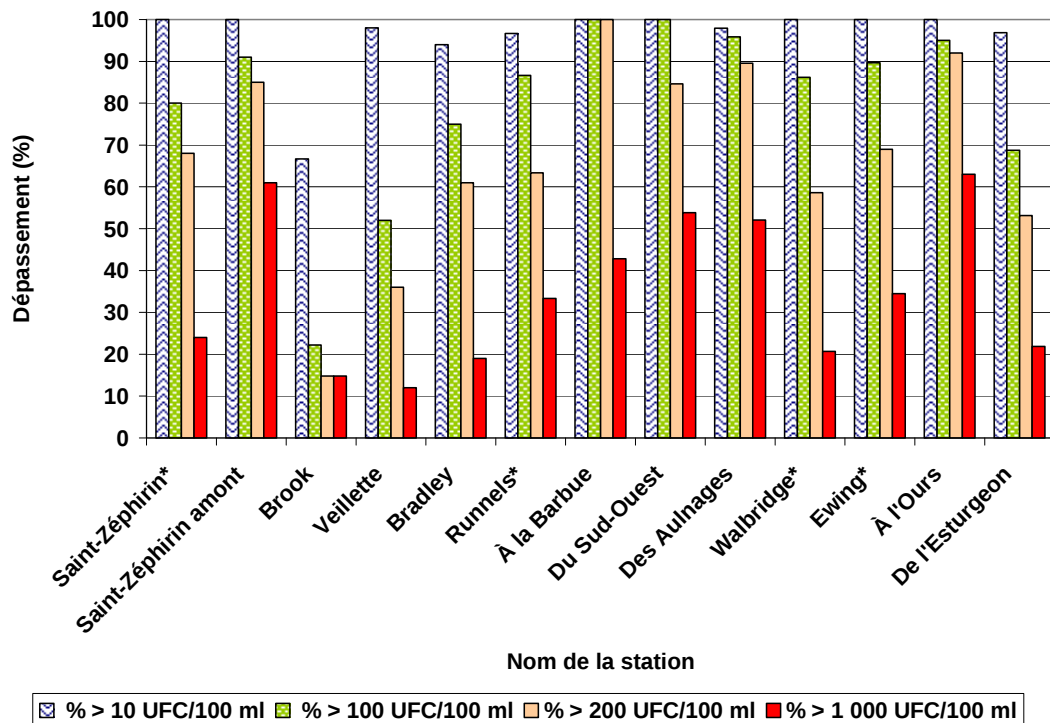
La DSEE (Atlas SYGIRS) a répertorié la présence de prises d'eau pour l'abreuvement du bétail dans les rivières Boyer Sud, Boyer Nord, Le Bras et de l'Esturgeon et dans les ruisseaux Vacher et Saint-Pierre. Par contre, des prises d'eau peuvent avoir été aménagées pour abreuver le bétail dans les autres cours d'eau, aux endroits longeant des pâturages. L'obligation réglementaire, depuis avril 2005, de limiter l'accès du bétail aux cours d'eau ainsi que la fin de l'admissibilité au programme Prime-Vert de l'aménagement d'aires d'abreuvement du bétail en retrait des cours d'eau, en 2013, ont pu favoriser une meilleure gestion des troupeaux en bordure des cours d'eau. L'accès au cours d'eau d'un troupeau comportant des animaux malades ou porteurs de bactéries pathogènes comporte un risque de propagation des maladies, non seulement à l'intérieur de celui-ci, mais aussi aux autres troupeaux situés en aval, dans le bassin versant dont l'eau d'abreuvement est prélevée dans ce cours d'eau. Les maladies des troupeaux ont des conséquences économiques, comme la baisse de productivité ou encore une hausse des coûts liés aux antibiotiques, qui peuvent en outre contribuer à augmenter la résistance des bactéries.

2.2.3 Production d'eau potable

Le critère de qualité de 200 UFC/100 ml pour l'eau brute destinée à l'approvisionnement en eau potable lorsque cette eau fait l'objet d'un traitement par filtration a été dépassé à 47 des 51 stations et le critère de 20 UFC/100 ml pour l'eau brute non traitée par filtration l'a été aux 51 stations (annexe 4).



a) Région hydrographique 02 – Saint-Laurent sud-est



b) Région hydrographique 03 – Saint-Laurent sud-ouest

Figure 2 Dépassement des seuils de CF en été aux stations situées sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent pour la période de 2006 à 2010 (de 2009 à 2013 aux 10 stations suivies d'un astérisque)

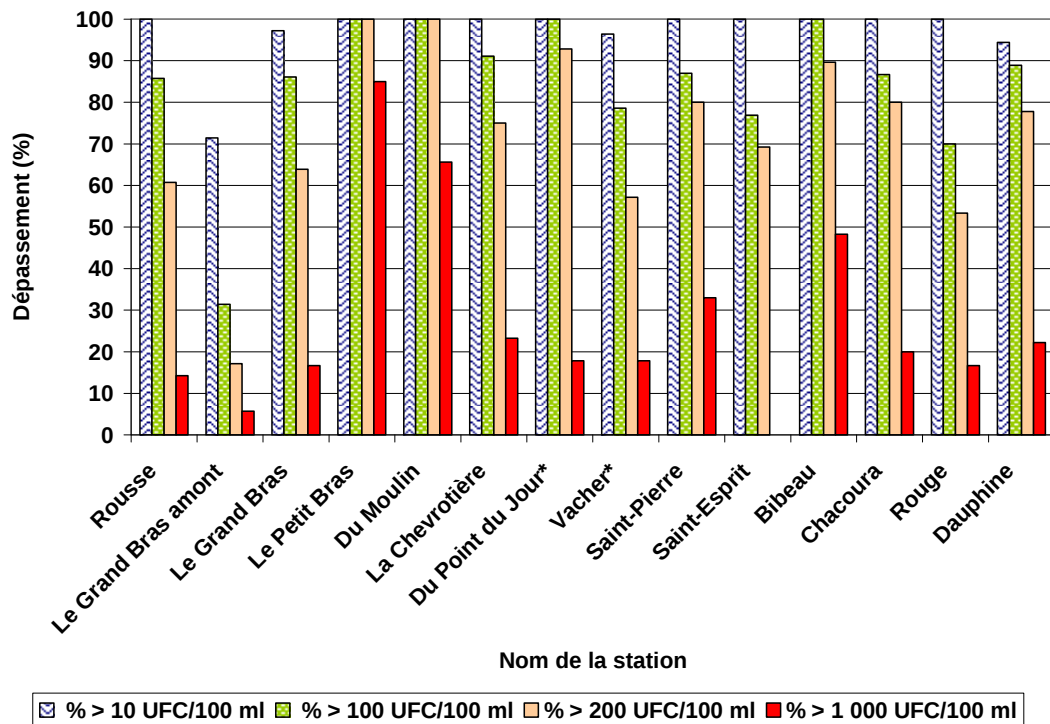


Figure 3 Dépassement des seuils de CF en été aux stations situées sur la rive nord du fleuve Saint-Laurent et à l'île d'Orléans (régions hydrographiques 04, 05, 06 et 12) pour la période de 2006 à 2010 (de 2009 à 2013 aux deux stations suivies d'un astérisque)

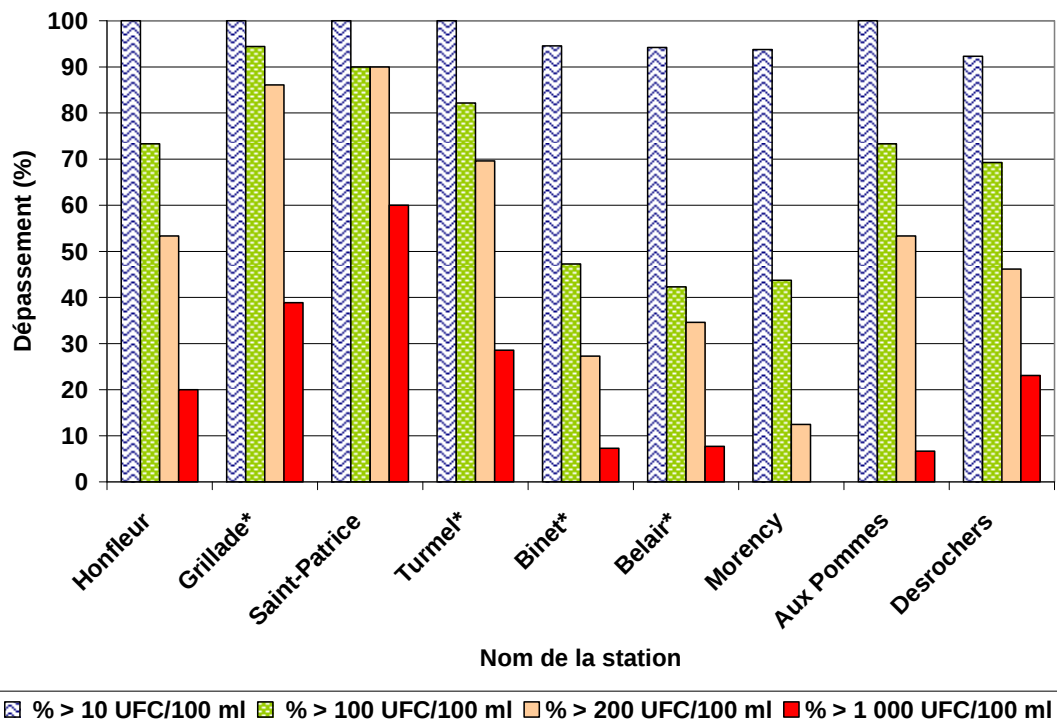


Figure 4 Dépassement des seuils de CF en été aux stations des régions hydrographiques 02 – Saint-Laurent sud-est et 05 – Saint-Laurent nord-ouest pour la période de 2003 à 2005 (de 1999 à 2001 aux quatre stations suivies d'un astérisque)

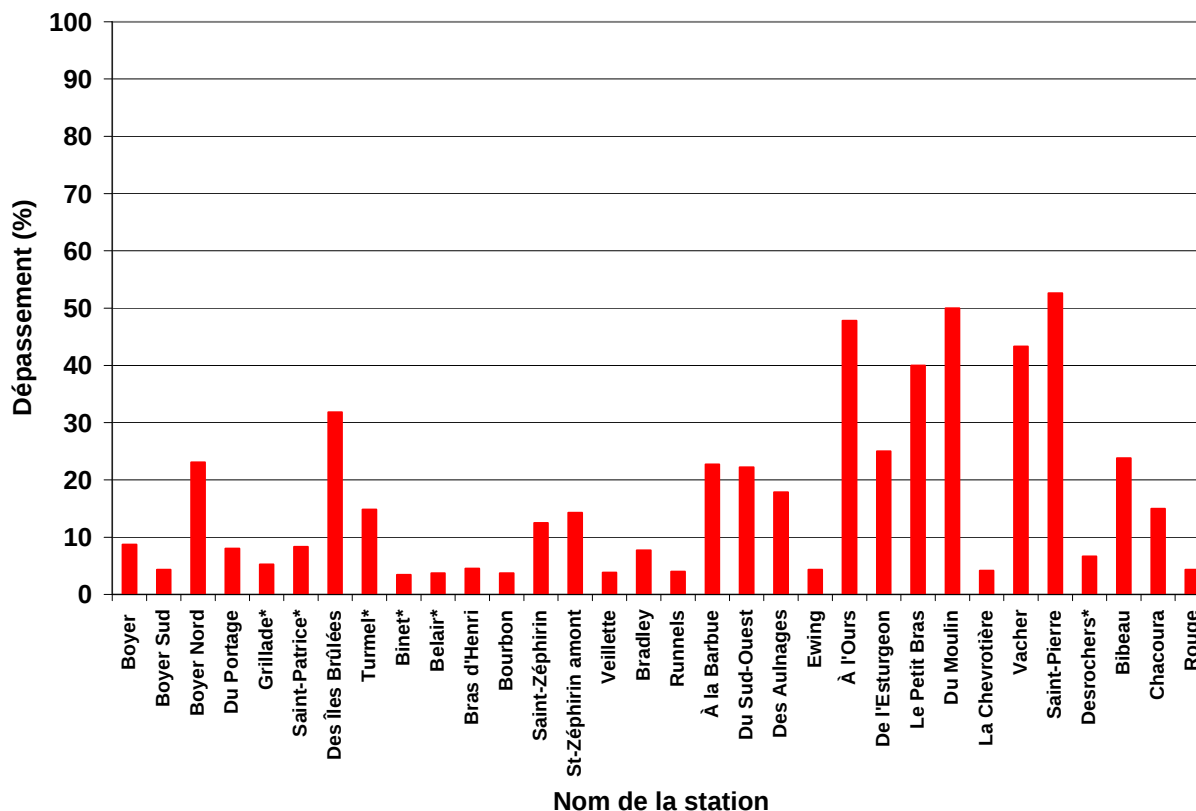
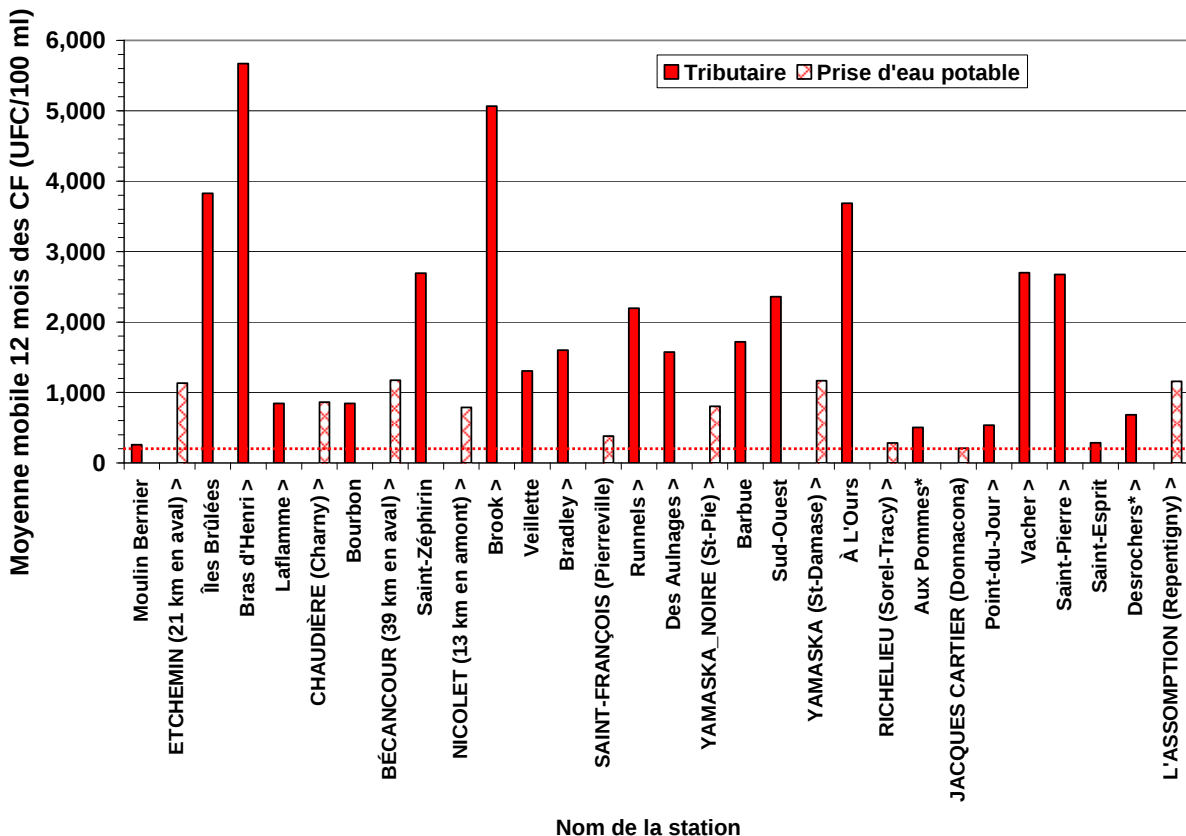


Figure 5 Dépassement de la valeur seuil de 1 000 UFC/100 ml en hiver (données les plus récentes depuis 2006, sauf aux six stations suivies d'un astérisque, où les données datent de 1999 à 2005)

Ce résultat indique que l'eau de ces cours d'eau, si elle était utilisée aux fins de production d'eau potable, pourrait nécessiter un traitement en plus de la filtration, sauf à quatre stations (Petite rivière Neigette, Belair, Morency et Le Grand Bras amont), où un traitement par filtration pourrait être suffisant. Il s'agit cependant d'une approximation, puisque les exigences en matière de traitement sont plutôt établies en fonction des concentrations de bactéries *E. coli* obtenues à l'eau brute par les responsables de stations de production d'eau potable. À 29 des 51 stations, la moyenne mobile des CF la plus élevée pendant 12 mois consécutifs dépasse 1 000 UFC/100 ml, ce qui correspond à plus de cinq fois le critère.

Deux des stations étudiées sont situées à moins de 2 km en amont d'une prise d'eau potable, soit celle de la rivière Belair, qui alimente la ville de Sainte-Marie, et celle de la Petite rivière Neigette, qui approvisionnait jusqu'en novembre 2011 la ville de Rimouski (communication personnelle de Steve Collin, ingénieur à la Ville de Rimouski). Plusieurs des cours d'eau étudiés contribuent à la contamination bactériologique de l'eau prélevée par des municipalités plus en aval dans les rivières Etchemin, Chaudière, Bécancour, Nicolet, Saint-François, Yamaska, Richelieu, Jacques-Cartier et L'Assomption (figure 6). En effet, la moyenne mobile des CF la plus élevée pendant 12 mois consécutifs dépasse le critère de 200 UFC/100 ml pour la période de 2011 à 2013 à chacune de ces neuf rivières, ce qui indique qu'un traitement supplémentaire de l'eau brute pourrait être nécessaire. Le traitement de l'eau de surface prélevée par ces municipalités comporte minimalement des étapes de filtration et de désinfection. Plusieurs ont aussi des étapes d'ozonation ou d'ultraviolets.



Note : La période pour les tributaires se situe entre 2006 et 2013, sauf aux stations suivies d'un astérisque, où elle est de 2003 à 2005, alors que celle pour les stations en rivière correspondant à des prises d'eau potable est de 2011 à 2013. Le nom de la prise d'eau potable ou la distance de la station en rivière la plus représentative est indiqué entre parenthèses. Les distances pour les rivières Etchemin, Bécancour et Nicolet sont indiquées respectivement par rapport aux prises d'eau de Saint-Henri, Daveluyville et Nicolet. Le symbole « > » signifie que la moyenne est supérieure à celle indiquée; le trait pointillé rouge désigne le critère de qualité de l'eau.

Figure 6 Concentration moyenne des CF aux stations des petits tributaires et aux stations des rivières correspondant aux prises d'eau potable en aval

2.2.4 Protection du milieu aquatique et consommation humaine

Le MDDELCC n'a pas de critère bactériologique pour la protection de la vie aquatique et de la faune terrestre piscivore. Le critère de CF pour maintenir la récolte et la consommation humaine de mollusques marins en eaux salées (14 UFC/100 ml; pas plus de 10 % des échantillons excédant 43 UFC/100 ml) (MDDEFP, 2013) n'est pas directement applicable aux petits cours d'eau en milieu agricole. Edge et autres (2012) ont proposé des seuils provisoires de référence environnementale d'*E. coli* pour les microorganismes pathogènes d'origine hydrique dans les bassins versants agricoles au Canada, à l'aide d'une approche basée sur l'occurrence naturelle de ces microorganismes à des sites de référence. Le seuil le mieux adapté à cette occurrence ($R^2 = 0,66$; $p < 0,05$), exprimé en moyenne arithmétique annuelle d'*E. coli*, est de 75 UFC/100 ml. Ce seuil n'est toutefois pas basé sur des études épidémiologiques ou écosystémiques et ne constitue donc pas un seuil de protection du milieu aquatique. Il permet par contre de montrer que les niveaux de contamination bactériologique observés dans les cours d'eau étudiés correspondent généralement à une occurrence de microorganismes pathogènes prévisible plus élevée que celle observée naturellement, puisqu'une seule station de notre étude (Petite rivière Neigette) le respecte.

Quelques études suggèrent néanmoins un impact possible de la contamination bactériologique sur le milieu aquatique. Guzman et autres (2004) ont observé que les *E. coli*, qui ne font pas partie de la flore intestinale permanente des poissons, s'y retrouvaient à une concentration dans l'eau de 100 UFC/100 ml (la plus faible étudiée) et qu'ils se rencontraient dans les muscles des poissons à une concentration dans l'eau de 1 000 UFC/100 ml. Geldreich et Clarke (1966) avaient aussi observé la présence de CF dans l'intestin de poissons provenant d'une rivière modérément polluée ainsi qu'un potentiel de survie et de multiplication des bactéries dans l'intestin lorsque la température de l'eau et des poissons est de 20 °C ou plus. Les auteurs notent en outre une modification de la flore intestinale des poissons dans ces eaux contaminées et suggèrent que ceux-ci peuvent transporter la contamination bactériologique dans des cours d'eau non pollués. L'étude de Ménard et autres (2010) sur les impacts de la pollution urbaine de Montréal suggère de plus une influence de la contamination bactériologique de l'eau sur le système immunitaire des poissons. Il faut souligner toutefois que cette étude a été réalisée dans des eaux très polluées et que le seuil de contamination bactériologique présentant un effet sur les poissons ou la vie aquatique n'est pas connu.

L'information disponible montre néanmoins l'importance de poursuivre les efforts pour réduire la contamination bactériologique dans les petits cours d'eau en milieu agricole, en particulier lorsque sont visés le retour ou le maintien de certaines espèces de poissons. Ces efforts contribueraient également à diminuer le risque de transmission des bactéries pathogènes à la faune terrestre piscivore et aux animaux domestiques.

2.2.5 Risque de contamination bactériologique et limite des méthodes employées

Le niveau de contamination bactériologique des cours d'eau en milieu agricole, et, par conséquent, le risque de contamination des cours d'eau par des microorganismes pathogènes, augmente avec la concentration de CF ou d'*E. coli* et la fréquence de dépassement des critères et recommandations associés à divers usages. Ainsi, le risque pour la santé s'accroît avec l'importance du contact avec l'eau et le niveau de contamination. L'utilisation de moyens de traitement, tels que la désinfection, permet de réduire les risques associés à l'ingestion d'eau contaminée (eau potable, abreuvement du bétail et irrigation des cultures).

De plus, plusieurs cours d'eau présentent des fluctuations importantes de la contamination. Même lorsque la fréquence de dépassement des critères est faible, il arrive, à l'occasion, des dépassements très importants. L'annexe 4 montre qu'à 31 des 42 stations ayant fait l'objet d'un suivi entre 2006 et 2013, des valeurs estivales de CF étaient plus de six fois plus élevées que le critère de 1 000 UFC/100 ml pour les activités de contact indirect ou pour la salubrité générale de l'eau (MDDEFP, 2013). Ces valeurs élevées peuvent être obtenues, notamment, lors des pluies survenant en période d'épandage des déjections animales ou encore à la suite de rejets ponctuels en période d'étiage. Pourtant, à la plupart de ces stations présentant des valeurs six fois supérieures au critère de 1 000 UFC/100 ml (25 stations sur 31), moins de la moitié des valeurs de CF dépassaient ce critère. Les concentrations élevées de ces bactéries indicatrices sont plus susceptibles d'être accompagnées d'une présence importante de bactéries pathogènes dans l'eau, lorsque celles-ci sont présentes dans les élevages ou chez les humains. Cependant, la présence dans les cours d'eau de bactéries pathogènes, rapportée dans plusieurs études, suggère un risque potentiel, même dans ceux présentant de faibles valeurs de CF (Wu et autres, 2011). Ce constat s'explique notamment par les patrons de prévalence des bactéries pathogènes, qui peuvent différer des apports de bactéries indicatrices.

Une amélioration de la qualité bactériologique des petits cours d'eau en milieu agricole à l'aide de meilleures méthodes d'assainissement des déjections animales et la mise au point d'outils de prévision des épisodes de contamination bactériologique importante aideraient à rendre les divers usages de l'eau plus sécuritaires. Les principes de précaution et de protection de l'environnement incitent à réduire la contamination bactériologique à la source, non seulement dans le cas des activités récréatives de contact où l'eau ne peut subir aucun traitement, mais également dans le cas où l'eau est utilisée après un traitement. La réduction de la contamination bactériologique à la source pourrait en outre avoir des effets

économiques bénéfiques, par exemple une baisse des coûts de traitement de l'eau potable ou encore une diminution des coûts de santé pour les humains et les animaux.

La plupart des stations qui présentaient un dépassement du seuil de 1 000 UFC/100 ml dans plus de la moitié des échantillons étaient caractérisées par la présence, en amont rapproché, d'un secteur urbain ou de rejets de résidences isolées, ou encore de sources agricoles de contamination, comme des points d'accès du bétail aux cours d'eau ou des amas de fumier. Toutefois, la provenance de la contamination n'a pu être clairement établie en raison de la présence de plusieurs sources de contamination bactériologique d'origine humaine et animale dans les bassins versants. Ce constat suggère que l'élimination des sources de contamination bactériologique devrait se faire en commençant par l'amont rapproché des lieux comportant des usages de l'eau. Le manque de connaissance sur l'origine et la nature de la contamination bactériologique des cours d'eau constitue la principale limite à une intervention d'assainissement efficace.

Par ailleurs, les méthodes traditionnelles de suivi des cours d'eau permettent difficilement de prévoir les épisodes de contamination en raison du faible échantillonnage (une ou deux bouteilles de 250 ml par mois), des délais d'analyse en laboratoire (24 heures pour CF et *E. coli*) et du coût élevé d'analyse des bactéries pathogènes. De plus, la survie des CF et *E. coli* n'est pas représentative de tous les microorganismes pathogènes.

2.3 Tendances des concentrations de coliformes fécaux

La présente section permet de déterminer, à l'aide d'analyses de tendances des CF à 17 stations, dans quelle mesure la mise en œuvre de diverses actions d'assainissement a permis de diminuer les concentrations de CF et, par conséquent, le risque de contamination microbienne des cours d'eau étudiés.

2.3.1 Analyse globale pour la période de 1997 à 2013 à l'aide de méthodes non paramétriques

Cette première analyse de tendances vise à déterminer l'évolution globale (toutes saisons confondues) de la contamination bactériologique dans les tributaires agricoles à la suite de la mise en vigueur du RRPOA en 1997 (remplacé par le REA en juin 2002). À cette fin, les concentrations de CF mesurées chaque mois aux 17 stations où un suivi d'une durée d'au moins huit ans a été réalisé, de 1997 à 2013, ont été retenues pour l'étude des tendances linéaires monotones à l'aide de tests non paramétriques (tableau 4).

Une tendance à la baisse significative au seuil de 5 % a été observée à sept stations. En considérant un seuil de 10 %, trois autres stations présenteraient aussi une tendance significative à la baisse. Les résultats de l'étude des tendances monotones sur toutes les saisons à l'aide des données disponibles pour la période de 1997 à 2013 suggèrent donc que l'ensemble des mesures réglementaires et des programmes mis en place au cours de cette période ont entraîné une modification des pratiques qui a permis une baisse significative des CF à près de la moitié des 17 stations étudiées.

Tableau 4 Tendances des concentrations de coliformes fécaux pour la période de 1997 à 2013

Station BQMA ^a	Cours d'eau	Date		Valeur ^b (UFC/100 ml)		Pente	Écart (%)	Probabilité	N	Test utilisé ^c
		Début	Fin	Début	Fin					
02E90002	Fouquette	21-mai-97	05-nov-13	117	91	-1,6	-22	0,0612	169	MKS
02300001	Boyer	02-févr-97	05-nov-13	383	269	-6,8	-30	0,0991	164	MK
02300002	Boyer Sud	13-janv-97	05-nov-13	210	109	-6,0	-48	0,0231	162	MKS
02300003	Boyer Nord	03-mars-97	03-déc-13	557	312	-14,6	-44	0,0225	165	MK
02300004	Du Portage	13-oct-97	08-juin-09	2 051	890	-99,5	-57	0,0021	110	HS84
02300005	Honfleur	23-juil-97	06-mars-06	190	143	-5,5	-25	0,1634	76	HS84
02340086	Des Îles Brûlées	13-oct-97	08-juin-09	686	439	-21,2	-36	0,1534	123	MK
02340099	Bras d'Henri	04-oct-99	02-déc-13	309	121	-13,3	-61	0,0006	134	MKS
03030008	Runnels	09-nov-97	04-nov-13	325	204	-7,6	-37	0,0234	133	MKS
03030237	Du Sud-Ouest	09-nov-97	06-juil-08	1 160	627	-50,0	-46	0,0437	96	MKS
03030253	Des Aulnages	02-mai-01	12-janv-10	625	625	0,0	0	1,0000	100	Aucun
03040066	Walbridge	14-oct-98	11-déc-13	139	161	1,4	15	0,4346	159	HS84
03040273	Ewing	03-avr-01	11-déc-13	317	283	-2,7	-11	0,4993	137	HS84
05220063	Du Point du Jour	26-oct-97	06-mars-06	765	540	-26,7	-29	0,1886	75	MKS
05220239	Vacher	26-oct-97	09-déc-13	622	387	-14,5	-38	0,0405	155	MKS
05220240	Saint-Pierre	26-oct-97	15-juil-08	1 832	911	-85,7	-50	0,0859	96	HS84
05220241	Saint-Esprit	09-nov-97	01-juin-08	179	163	-1,5	-9	0,7052	101	MKS

a : Numéro de station, Banque de données sur la qualité du milieu aquatique; b : Concentrations obtenues des droites de tendance positionnées à l'aide des pentes (établies à l'aide de la pente de Sen lorsque le test de Mann-Kendall a été utilisé et à l'aide de la pente de Kendall dans les autres cas) et des concentrations médianes basées sur les médianes mensuelles de coliformes fécaux et le temps médian des valeurs observées; c : Test sur les premières données de chaque mois de l'année, non corrigées pour le débit, selon la procédure décrite dans Patoine et D'Auteuil-Potvin (2013); MK = Mann-Kendall, MKS = Mann-Kendall saisonnier, HS84 = Hirsch et Slack (1984), Aucun = aucun test utilisé (pente nulle), N = Nombre de données utilisées pour le test. Les valeurs en caractère gras indiquent des tendances significatives au seuil de 5 %.

Une étude des tendances pour la période de 1999 à 2008 (Patoine et D'Auteuil-Potvin, 2013) à 10 stations, dont 7 sont incluses dans la présente étude, n'avait permis de mettre en évidence une baisse des CF qu'à une station, soit celle de la rivière Bras d'Henri. Une analyse pour la période de 1997 à 2010 aux 17 stations (non publiée) a montré une baisse significative des CF à seulement trois d'entre elles, soit celles du ruisseau du Portage et des rivières Bras d'Henri et du Sud-Ouest. La prise en compte des données disponibles de 1997 à 2013 permet de voir une baisse des CF à quatre stations additionnelles, soit celles des rivières Boyer Sud et Boyer Nord et des ruisseaux Runnels et Vacher. L'allongement de la période de suivi des CF jusqu'en 2013 augmente la puissance des tests non paramétriques retenus et inclut les interventions d'assainissement récentes, ce qui favorise la détection de tendances à un plus grand nombre de stations.

Toutefois, les méthodes non paramétriques utilisées considèrent un taux de changement des CF constant dans le temps. Dans les bassins versants étudiés, des interventions d'assainissement agricole, comme l'entreposage étanche des déjections animales, se sont faites progressivement, mais à un rythme qui a pu

varier. Des fluctuations dans l'évolution des densités animales ou encore des interventions plus concentrées dans le temps, comme le retrait du bétail des cours d'eau, ont aussi pu faire varier le taux de changement des CF. D'autres interventions d'assainissement, comme la mise en place d'un traitement des eaux usées, peuvent entraîner une baisse subite des CF. De plus, le changement des CF peut différer selon la saison en fonction de l'évolution des pratiques agricoles (pâturages et accès aux cours d'eau en été, périodes d'épandage, stockage selon la période, cours d'exercice) et du traitement des eaux usées. Compte tenu des différents changements dans les bassins versants, des méthodes paramétriques comme les régressions linéaires segmentées peuvent apporter un complément utile à la première analyse réalisée à l'aide de méthodes non paramétriques et contribuer à mieux expliquer les résultats obtenus.

2.3.2 Analyse par saison pour la période de 1990 à 2013 à l'aide d'une méthode paramétrique

Cette deuxième analyse de tendances vise à déterminer, par saison et en tenant compte du traitement des eaux usées d'origine humaine, l'évolution des concentrations de CF sur l'ensemble de la période de suivi (de 1990 à 2013) afin de couvrir la période des programmes d'aide à la gestion des déjections animales mis en place avant 1997 (programme PAAGF lancé en 1988 et remplacé par le PAIA et Prime-Vert). À cette fin, une analyse des tendances selon deux saisons, l'été (de mai à octobre) et l'hiver (de novembre à avril), à l'aide de régressions linéaires segmentées censurées, a aussi été réalisée aux 17 stations pour mieux mettre en évidence l'effet des interventions dans les bassins versants sur les valeurs de CF. Les données antérieures à 1997, disponibles aux cinq stations de la rivière Boyer et à la station de la rivière du Sud-Ouest, ont été incluses dans cette analyse. Les variables (saut, pente) éliminées par la méthode pas à pas descendante étaient toutes non significatives au seuil de 5 %.

Le tableau 5 présente les concentrations estivales et hivernales de CF (médianes obtenues par régression) aux stations ne comportant pas de changement au cours de la période de suivi considérée, alors que les résultats aux stations dénotant des changements significatifs sont illustrés aux figures 7 à 12.

Les stations des rivières Fouquette et des Îles Brûlées ainsi que celles des ruisseaux des Aulnages, Vacher et Saint-Esprit n'ont montré aucune tendance significative au seuil de 5 % pour les deux saisons (tableau 5). La station de la rivière Boyer (02300001) a laissé paraître une diminution (saut) en hiver seulement à compter de novembre 2006, alors qu'au ruisseau du Portage, un saut significatif à la baisse a été observé à cette même date pour les deux saisons (figures 7a et 7b). À la station située à l'embouchure de la rivière Boyer Sud (02300002), une tendance à la baisse des CF a été constatée en période estivale de 1990 à 1997, mais non de 1997 à 2013. Le traitement distinct des données hivernales a aussi montré un saut à la baisse des CF en janvier 2000. La station du ruisseau Honfleur, qui draine un sous-bassin de la rivière Boyer Sud, a également révélé un saut à la baisse des valeurs de CF hivernales en janvier 2000 (figures 8a et 8b). Les rivières Boyer Nord et Bras d'Henri ont toutes deux témoigné d'une tendance linéaire à la baisse des valeurs estivales seulement (figures 9a et 9b), alors qu'une diminution des valeurs hivernales de CF a été observée aux stations du ruisseau Runnels (tendance linéaire) et de la rivière du Sud-Ouest (saut en janvier 2004) (figures 10a et 10b). Les ruisseaux Walbridge et Ewing ont montré une tendance linéaire à une saison, à la hausse en été dans le premier cas et à la baisse en hiver dans le second cas (figures 11a et 11b). Finalement, le ruisseau du Point du Jour a affiché une tendance linéaire à la baisse aux deux saisons, alors que la station du ruisseau Saint-Pierre a présenté un saut à la baisse en période estivale seulement (figures 12a et 12b).

Dans le cas du ruisseau Saint-Pierre, la date du saut (janvier 2005) a été déterminée à l'aide du logiciel DETECT (Cluis, 1989). Dans les autres cas, la date du saut a été fixée à la date de mise en place d'un traitement des eaux usées, mais elle correspond aussi à celle obtenue à l'aide du logiciel DETECT.

Tableau 5 Concentrations saisonnières de coliformes fécaux pour la période de 1997 à 2013

Station BQMA ^a	Cours d'eau	Période de suivi		Coliformes fécaux (UFC/100 ml)	
		Début	Fin	De mai à octobre	De novembre à avril
02E90002	Fouquette	Février 1997	Novembre 2013	208	27
02340086	Des Îles Brûlées	Octobre 1997	Juin 2009	782	613
03030253	Des Aulnages	Mai 2001	Janvier 2010	830	435
05220239	Vacher	Octobre 1997	Décembre 2013	413	677
05220241	Saint-Esprit	Novembre 1997	Juin 2008	275	111

a : Numéro de station, Banque de données sur la qualité du milieu aquatique.

Les relations par saison entre les CF et les densités animales et humaines, présentées par Patoine (2011), ont montré que la contamination d'origine agricole est plus élevée en été, alors que la contamination d'origine humaine est plus élevée en hiver. Ces relations suggèrent, par conséquent, que les baisses de CF observées en été sont davantage liées à l'assainissement agricole et que celles observées en hiver le sont à l'assainissement des eaux usées domestiques, ce qui peut aider à interpréter les résultats des tendances.

Aux stations de la rivière Fouquette et des ruisseaux Vacher et Saint-Esprit, le faible taux d'ajout de capacité d'entreposage (tableau 2) contribue à expliquer l'absence de baisse significative des CF. Dans le cas de la rivière des Îles Brûlées et du ruisseau des Aulnages, l'absence de diminution des CF malgré un ajout de capacité d'entreposage plus important pourrait être liée à la présence de rejets ponctuels de source humaine (non documentés), compte tenu des concentrations élevées de CF en saison hivernale (tableau 5). La présence concomitante de sources ponctuelles importantes et de sources diffuses pourrait en effet entraîner une plus grande variabilité des valeurs de CF et nuire à la détection des tendances.

Les changements survenus dans le bassin versant de la rivière Boyer (ajout de capacité d'entreposage, baisse d'accès du bétail au cours d'eau, traitement des eaux usées municipales) n'ont pas suffi à abaisser les valeurs estivales de CF à la station qui se trouve près de son embouchure (02300001). Par contre, l'élimination de rejets directs d'une résidence isolée, qui a entraîné une baisse des CF à son plus proche affluent d'importance (ruisseau du Portage, situé à environ 7 km en amont), peut contribuer à expliquer le saut à la baisse observé en saison hivernale à cette station à compter de novembre 2006 (figures 7a et 7b).

Dans le cas du ruisseau du Portage (figure 7b), la combinaison d'un faible ajout de capacité d'entreposage et d'une faible hausse de la densité animale peut expliquer l'absence de pente de tendance significative avant et après 1997. La baisse par saut très significative ($p < 0,0001$) d'environ 90 % ($1,0 \log_{10}$) observée en été et en hiver à compter de novembre 2006 peut s'expliquer par la mise en place, à cette date, d'un système de traitement des eaux usées (Bionet) desservant une résidence située à moins de 200 m en amont de la station 02300004, dont les eaux usées se déversaient dans le ruisseau. La présence de cette source de pollution faisait en sorte que la qualité de l'eau mesurée à cet endroit ne reflétait pas la qualité générale du cours d'eau, mais plutôt un problème local. Le retrait de l'accès des animaux au cours d'eau à des points situés à moins de 700 m en amont de la station, qui s'est effectué entre 2003 et 2009, pourrait aussi avoir contribué à la baisse de CF observée, notamment en période estivale, où les médianes de CF sont passées de 3 138 à 320 UFC/100 ml (baisse de 2 818) comparativement à 1 113 à 106 UFC/100 ml (baisse de 1 007) en période hivernale. Un suivi des CF en amont de la station 02300004 à l'été 2003 et à l'été 2004 (annexe 6) a d'ailleurs montré que les rejets d'une résidence isolée et les déjections animales déposées par le bétail dans le ruisseau à deux passages et à un point d'accès d'un affluent ont contribué de façon importante, à différentes dates, à la contamination bactériologique mesurée à cette station. La forte pente du terrain en direction de l'affluent du ruisseau du Portage et la présence d'une aire d'alimentation au haut de la pente ont également pu contribuer à la contamination bactériologique.

La baisse des valeurs de CF observée à la station de la rivière Boyer Sud (figure 8a) en été pour la période de 1990 à 1997 peut s'expliquer notamment par un ajout annuel de capacité d'entreposage de près de 6 UA/km², en moyenne, combiné à une baisse de cheptel de l'ordre de 6 UA/km² par année (tableau 2). L'absence d'une baisse significative des CF consécutive à 1997 pourrait s'expliquer par une hausse des cheptels (2,7 UA/km² par année de 1996 à 2006) qui a annulé en partie les effets bénéfiques attendus d'un ajout annuel de capacité d'entreposage semblable à celui d'avant 1997. Dans le sous-bassin du ruisseau Honfleur (figure 8b), l'absence d'une tendance significative à la baisse pourrait s'expliquer par un ajout annuel de capacité d'entreposage deux fois moindre avant 1997 (environ 3 UA/km²) et par une augmentation de cheptel après 1997 qui annule en partie l'effet d'un ajout annuel de capacité d'entreposage important (7,4 UA/km²). La mise en place, en janvier 2000, des étangs aérés de Honfleur, conçus pour desservir 400 personnes, a permis une baisse significative des valeurs de CF (tendance par saut) en période hivernale à la station du ruisseau Honfleur située à 4,7 km en aval de ceux-ci et à la station de la rivière Boyer Sud plus en aval (à 9,8 km), mais non à la station qui se trouve près de l'embouchure de la rivière Boyer.

La baisse linéaire des valeurs estivales de CF à la station de la rivière Boyer Nord (figure 9a) peut s'expliquer notamment par un ajout plus progressif de capacité d'entreposage de 1990 à 2013. Par ailleurs, les valeurs élevées de CF en période hivernale à cette station suggèrent la présence de sources ponctuelles, qui pourraient provenir de résidences isolées, du secteur urbain à la tête du bassin versant ou encore de systèmes de stockage des déjections animales non étanches.

Dans le cas de la station 02340099 sur la rivière Bras d'Henri (figure 9b), l'effet combiné de l'ajout de capacité d'entreposage (4,4 UA/km² par année), d'une baisse de la densité animale (estimée à 1,7 UA/km² par année à partir de la période de 1996 à 2006) et du retrait des animaux des cours d'eau (environ 10 UA/km²) pourrait expliquer la diminution significative des valeurs estivales de CF observée pour la période de 1999 à 2013. Par contre, la station 02340086 qui se trouve dans la rivière des Îles Brûlées (données non illustrées) ne présente pas une réduction significative des valeurs de CF, et ce, malgré une baisse de cheptel deux fois plus importante que celle survenue dans le bassin versant de la rivière Bras d'Henri et des changements comparables concernant l'ajout de capacité d'entreposage et le retrait d'animaux des cours d'eau. Les bassins versants de ces rivières étant adjacents, la différence entre leurs résultats pour les tendances de CF est peu susceptible d'être causée par des facteurs hydrologiques. D'autres facteurs liés à l'hydrographie des bassins versants ainsi qu'à la nature et à la répartition spatiale des sources de contamination pourraient être en cause.

Parmi ces autres facteurs qui pourraient contribuer à expliquer la baisse de CF observée pour la rivière Bras d'Henri, mentionnons la proximité des points d'accès des animaux au cours d'eau ou des lieux d'entreposage rendus conformes, l'amélioration des pratiques de fertilisation ou encore la baisse de fréquentation de passages d'animaux présents en amont de la station 02340099. En effet, le parcours de la rivière Bras d'Henri, qui passe au milieu des terres et sépare les fermes, faisait en sorte que les animaux au pâturage traversaient la rivière et y séjournaient occasionnellement. Depuis une dizaine d'années, des abreuvoirs et une broche électrique qui limite l'accès du bétail au seul moment du passage ont été installés sur certaines fermes, alors que les animaux sont gardés au bâtiment à l'année dans d'autres fermes.

Un projet de suivi de la qualité de l'eau de 2003 à 2007 aux stations des rivières Boyer Nord et Bras d'Henri, dans le cadre duquel chaque producteur agricole du bassin versant était invité à transmettre ses registres d'épandage au MDDELCC, a pu influencer favorablement les pratiques de fertilisation et, par conséquent, la qualité de l'eau à ces stations.

La baisse linéaire des valeurs hivernales de CF à la station du ruisseau Runnels (figure 10a) pourrait être associée à une réduction progressive des rejets de résidences isolées (non documentée), alors que pour la rivière du Sud-Ouest (figure 10b), la mise en exploitation, en janvier 2004 des étangs aérés de Sainte-Brigide-d'Iberville, conçus pour desservir 835 personnes, peut expliquer la baisse significative des CF (tendance par saut) observée à la station 03030237 située à environ 5,9 km en aval de ceux-ci. L'ajout de capacité d'entreposage pourrait aussi contribuer à expliquer la baisse des valeurs de CF observée à ces stations.

Au ruisseau Walbridge (figure 11a), la hausse linéaire des valeurs de CF en été seulement suggère une augmentation possible de la contamination d'origine agricole. Les données disponibles indiquent une faible augmentation de cheptel (hausse de densité animale de 19 UA/km² dans le bassin versant entre 1996 et 2006 [tableau 2] suivie d'une baisse de 12 UA/km² dans la MRC où se situe ce bassin versant [Brome-Missisquoi] entre 2006 et 2011) qui, combinée à un ajout de capacité d'entreposage de l'ordre de 20 UA/km² et à une baisse d'accès du bétail au cours d'eau (tableau 2), ne peut expliquer à elle seule cette hausse de CF. D'autres changements non documentés, par exemple dans la gestion d'élevage ou encore dans l'hydrologie, pourraient être responsables de cette hausse. La baisse linéaire des valeurs hivernales de CF au ruisseau Ewing (figure 11b) pourrait, quant à elle, s'expliquer par des correctifs apportés aux installations septiques ou encore par d'autres facteurs non documentés.

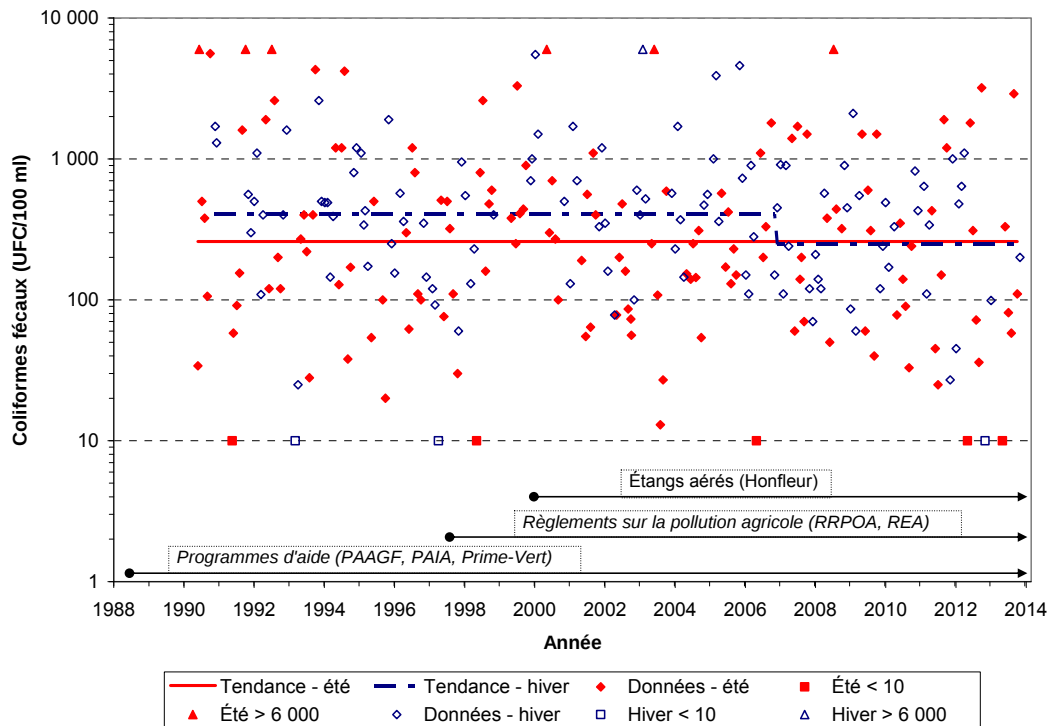
Au ruisseau du Point du Jour (figure 12a), le faible taux de changement dans l'entreposage, le cheptel et l'accès du bétail au cours d'eau (tableau 2) ne permet pas d'expliquer à lui seul la tendance à la baisse observée aux deux saisons. De plus, l'interruption du suivi de la qualité de l'eau de 2006 à 2008 et le manque d'information sur les autres interventions d'assainissement effectuées empêchent de déterminer clairement la présence d'un saut à l'une ou l'autre des saisons. Parmi les autres interventions d'assainissement qui pourraient expliquer les baisses de CF aux deux saisons, mentionnons l'élimination de rejets de résidences isolées situées en amont rapproché de la station d'échantillonnage ou encore l'élimination de rejets résidentiels dans le réseau pluvial desservant la partie urbaine du bassin versant (non documentées).

À la station du ruisseau Saint-Pierre (figure 12b), le retrait d'un accès du bétail au cours d'eau à moins de 100 m en amont de la station entre 2005 et 2006 contribue à expliquer la baisse de CF observée en période estivale à compter de 2005. La proximité de cette source ponctuelle avait un impact local significatif à la station de qualité de l'eau. Cependant, les valeurs estivales et hivernales de CF élevées à la suite de son enlèvement reflètent la présence d'autres sources de contamination importantes dans le bassin versant pouvant provenir notamment de sa partie urbaine.

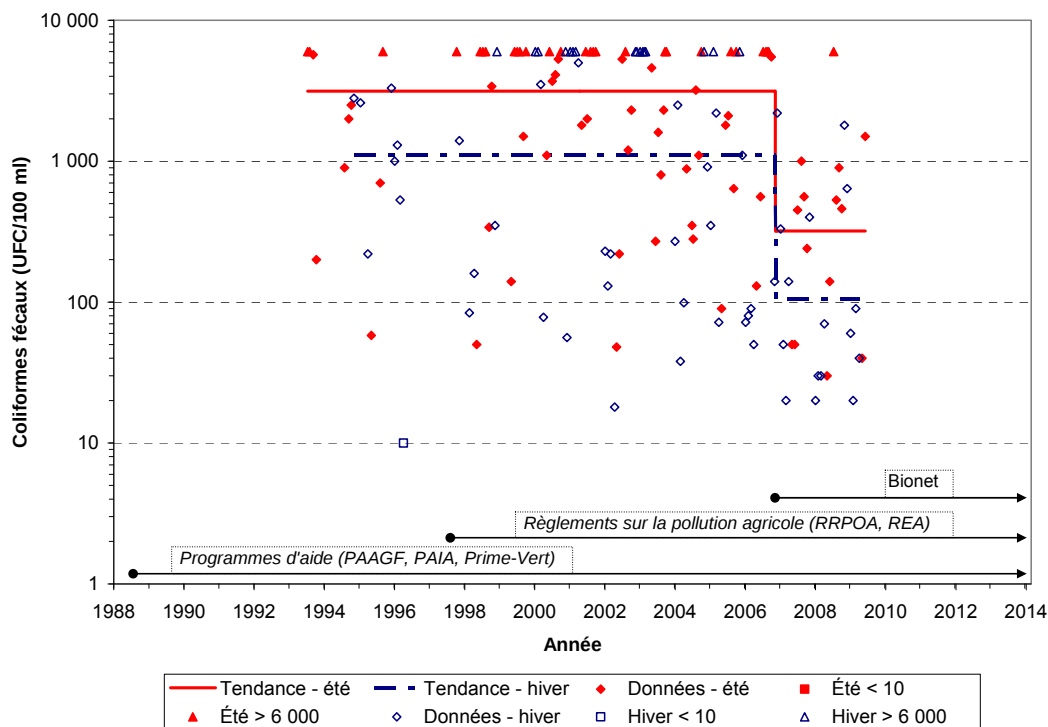
Les résultats de l'analyse de tendances par saison montrent en outre une baisse estivale de CF à seulement 6 des 17 stations, ce qui suggère un effet limité des interventions d'assainissement agricole. L'ajout de capacité d'entreposage, à un rythme différent selon le bassin versant ainsi qu'avant et après la mise en vigueur du RRPOA en 1997, a constitué la première intervention d'assainissement, suivie par le retrait du bétail des cours d'eau, exigé par le REA à compter de 2005. Les variations de cheptel, généralement à la baisse avant 1997, puis à la hausse jusqu'en 2006 (tableau 2) et vraisemblablement à la baisse par la suite, ont pu influencer les résultats. De plus, des ajouts de capacité d'entreposage pour de nouveaux élevages (plutôt que pour corriger des rejets d'élevages existants) pourraient être associés aux hausses de cheptel observées de 1996 à 2006 dans les cinq bassins versants de la rivière Boyer et dans ceux de la rivière du Sud-Ouest et des ruisseaux Walbridge, Ewing et Saint-Esprit.

En saison hivernale, une baisse significative de CF a été observée à huit stations, dont cinq peuvent vraisemblablement être associées au traitement des rejets d'une résidence isolée située en amont rapproché ou à la mise en place d'une station d'épuration dans le bassin versant. Des mesures d'assainissement agricole pourraient aussi avoir contribué à cette amélioration, mais dans une moindre mesure.

Une meilleure connaissance des interventions d'assainissement dans les bassins versants et de leur efficacité aiderait à mieux expliquer les résultats obtenus et à orienter les actions futures.

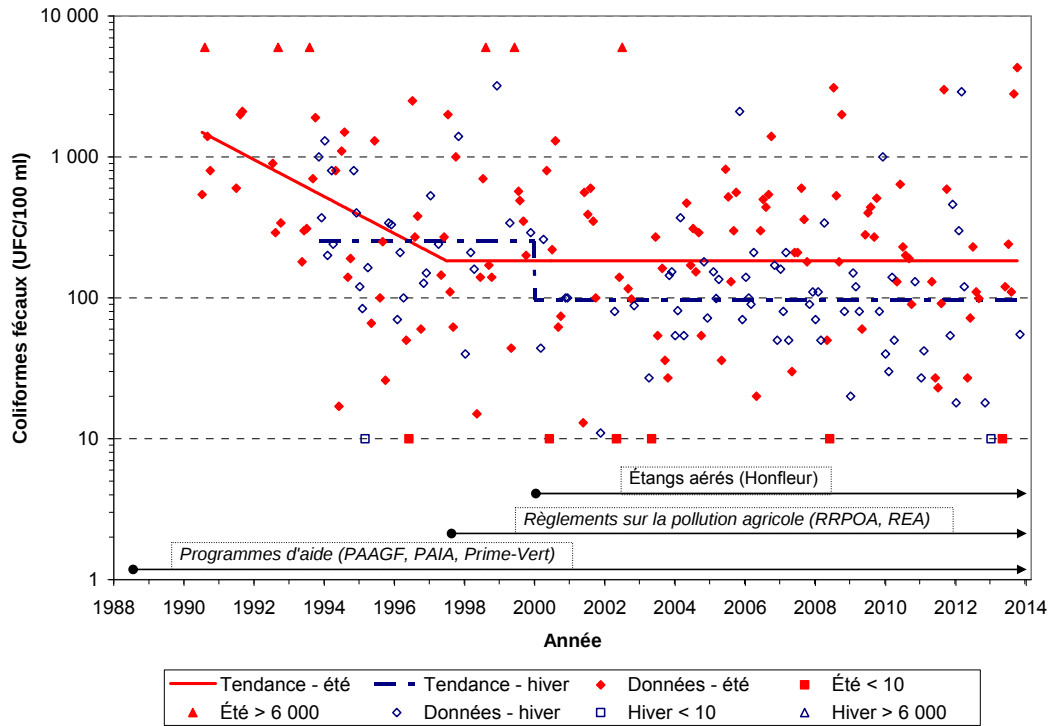


a) Rivière Boyer (02300001)

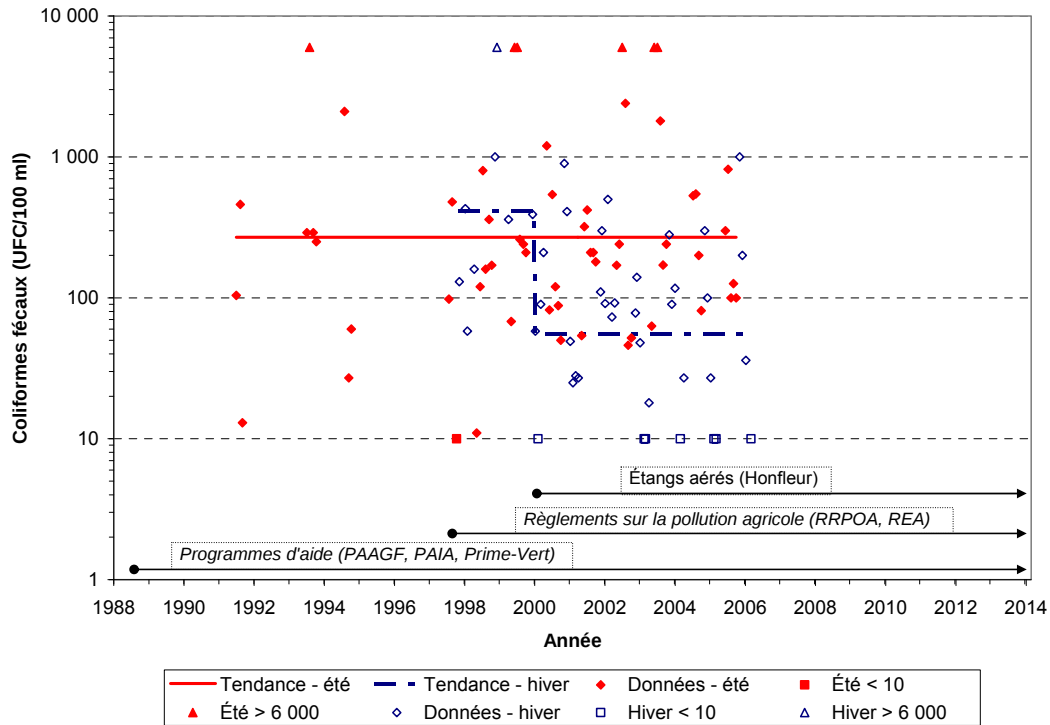


b) Ruisseau du Portage (02300004)

Figure 7 Tendances des coliformes fécaux aux stations de la rivière Boyer et du ruisseau du Portage, selon la saison

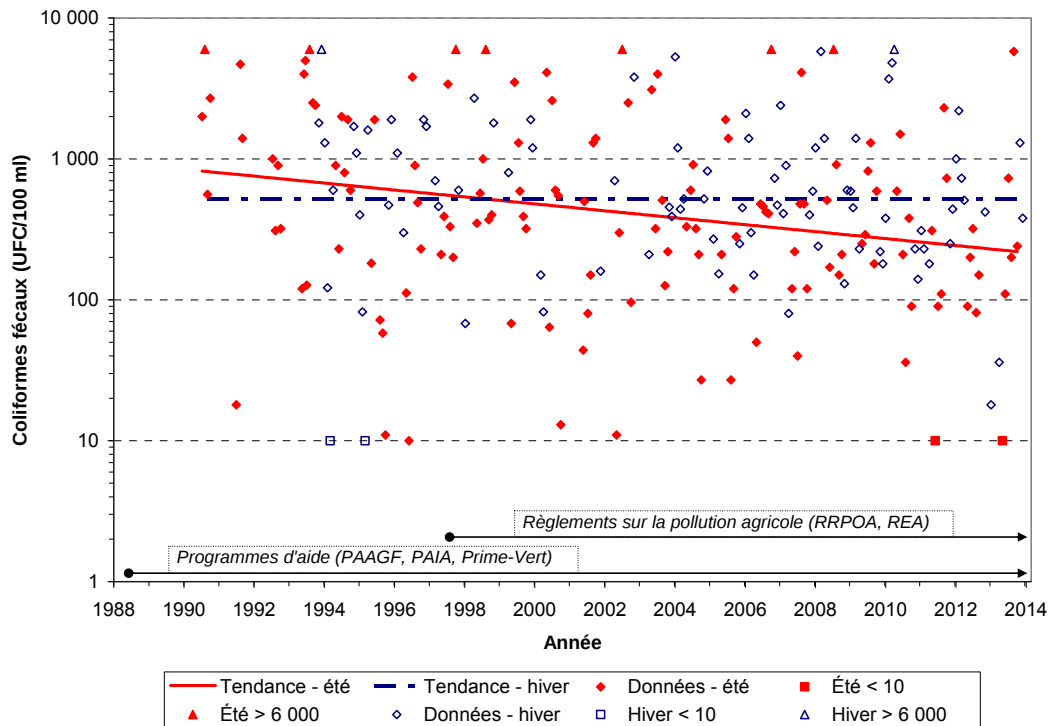


a) Rivière Boyer Sud (02300002)

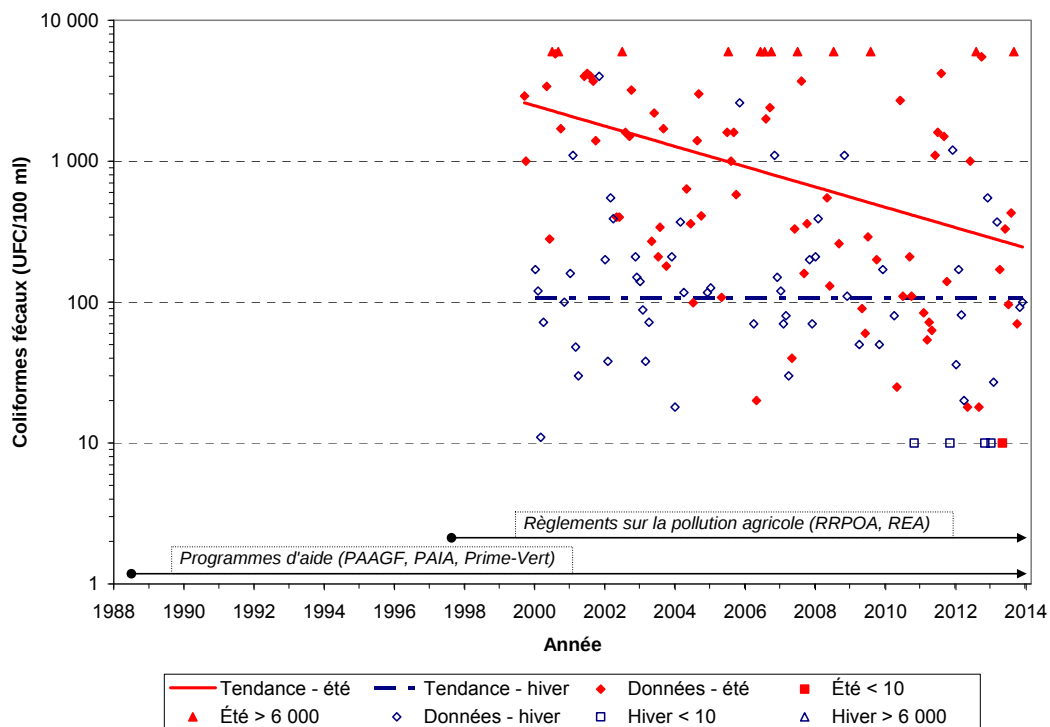


b) Ruisseau Honfleur (02300005)

Figure 8 Tendances des coliformes fécaux aux stations de la rivière Boyer Sud, selon la saison

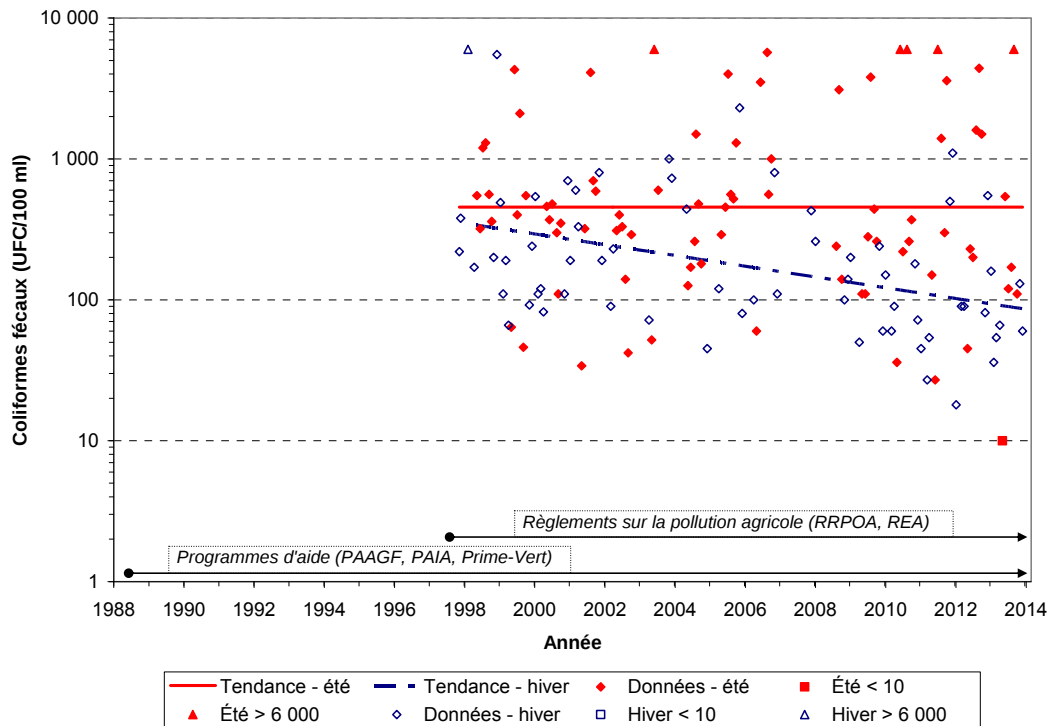


a) Rivière Boyer Nord (02300003)

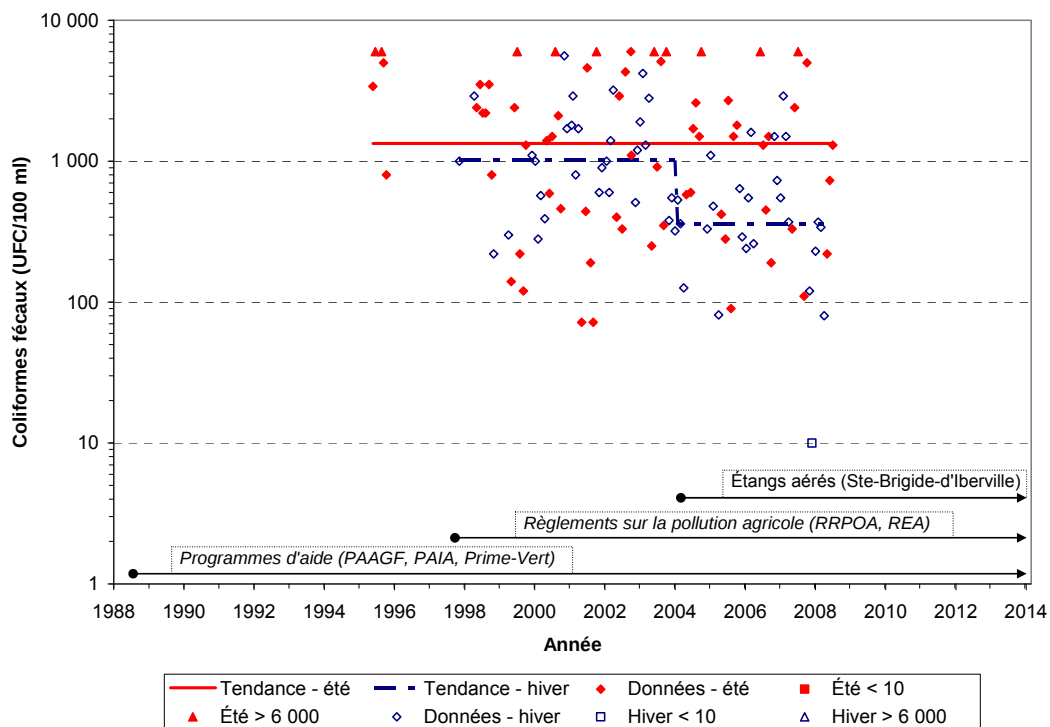


b) Rivière Bras d'Henri (02340099)

Figure 9 Tendances des coliformes fécaux aux stations des rivières Boyer Nord et Bras d'Henri, selon la saison

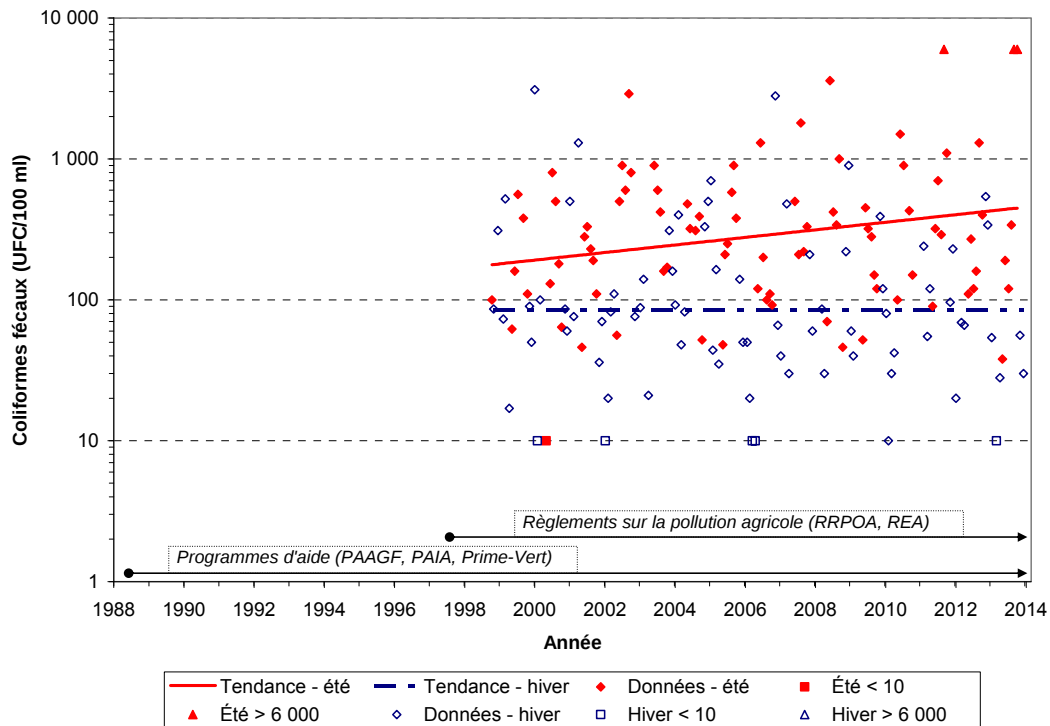


a) Ruisseau Runnels (03030008)

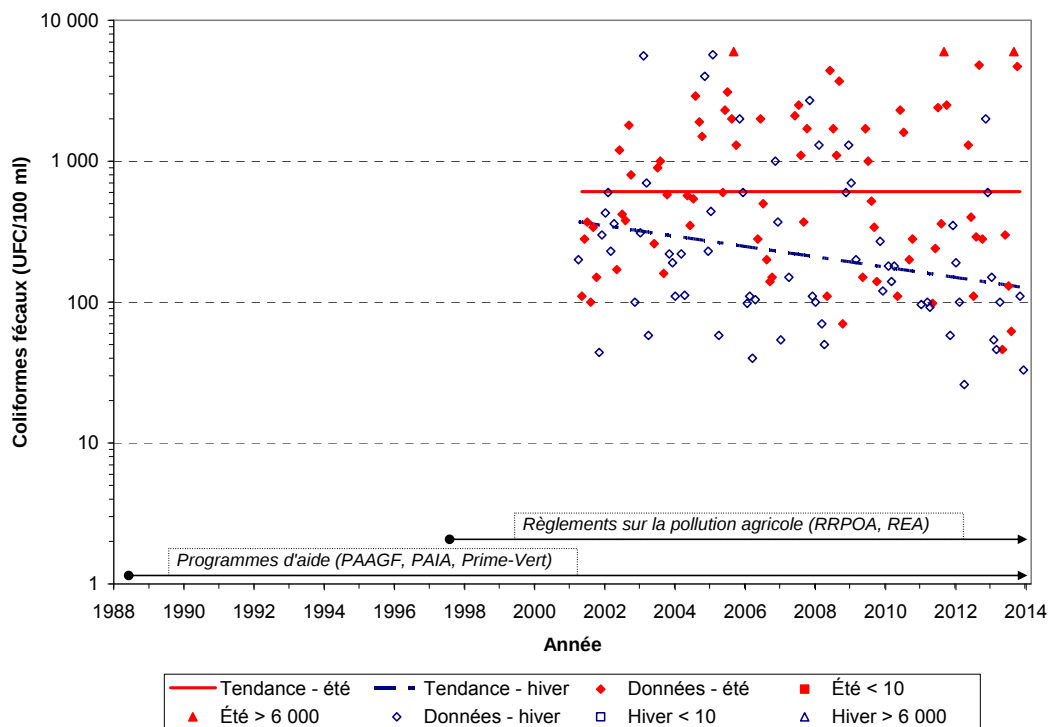


b) Rivière du Sud-Ouest (03030237)

Figure 10 Tendances des coliformes fécaux aux stations du ruisseau Runnels et de la rivière du Sud-Ouest, selon la saison

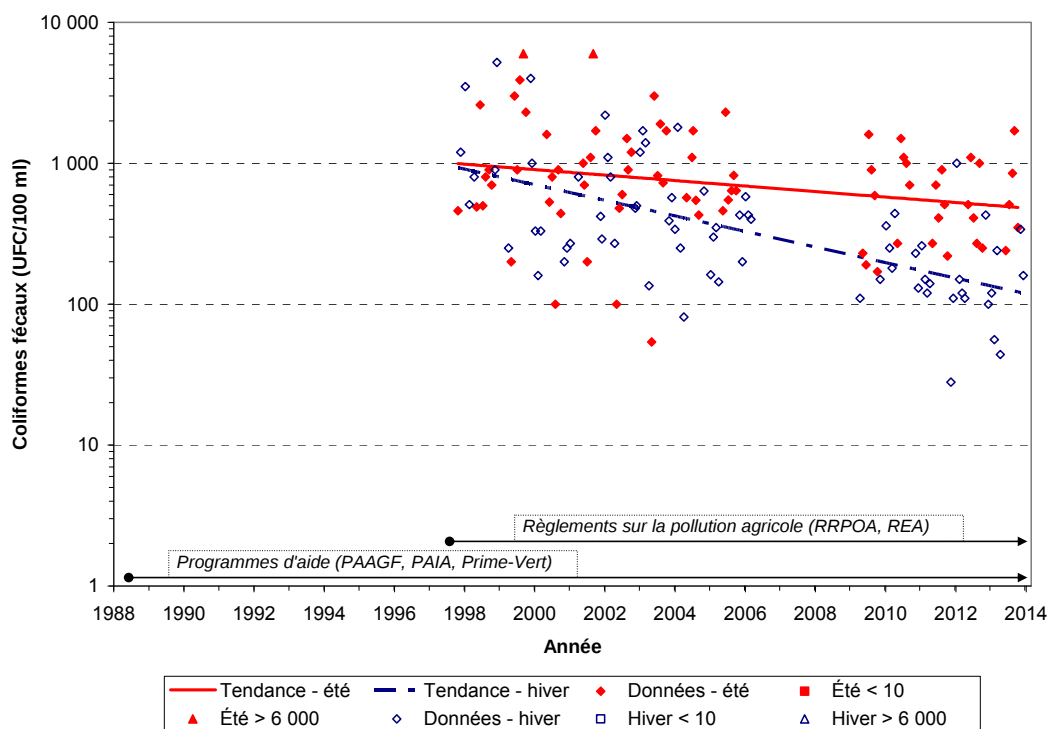


a) Ruisseau Walbridge (03040066)

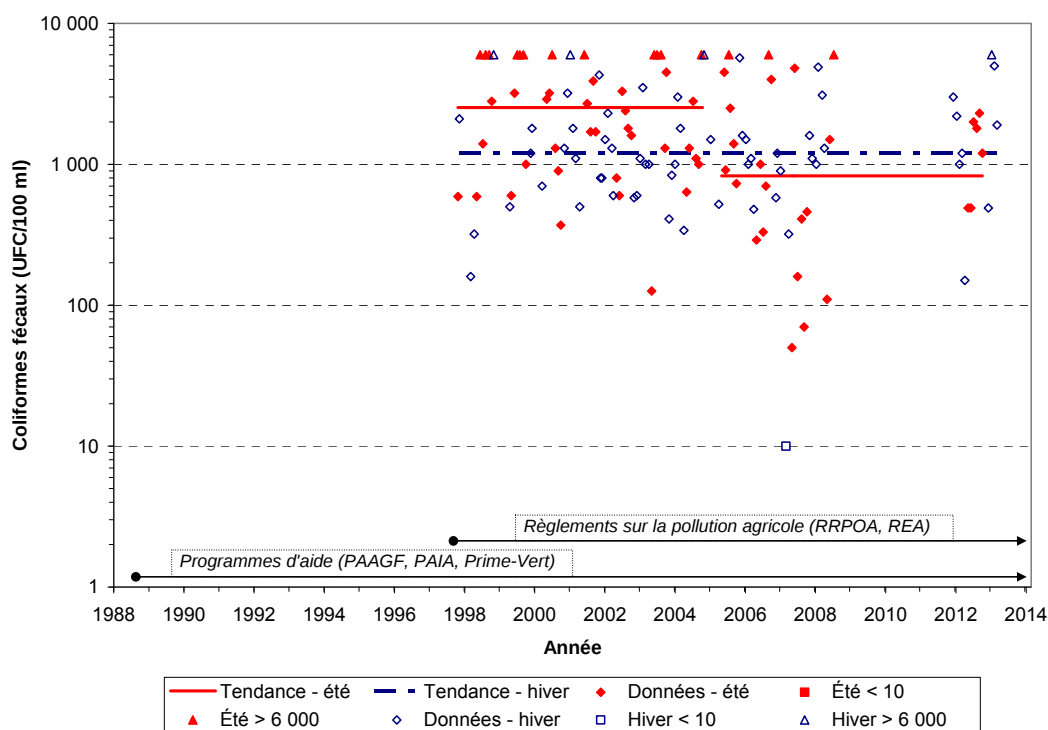


b) Ruisseau Ewing (03040073)

Figure 11 Tendances des coliformes fécaux aux stations des ruisseaux Walbridge et Ewing, selon la saison



a) Ruisseau du Point du Jour (05220063)



b) Ruisseau Saint-Pierre (05220240)

Figure 12 Tendances des coliformes fécaux aux stations des ruisseaux du Point du Jour et Saint-Pierre, selon la saison

2.3.3 Analyse par saison pour la période de 1990 à 2013 à l'aide de régressions logistiques

Cette troisième analyse, réalisée à l'aide de régressions logistiques, vise à confirmer ou à préciser les résultats des deux premières analyses. Elle permet de déterminer, par saison et en tenant compte du traitement des eaux usées d'origine humaine (tendance par saut à la date de mise en place du traitement), l'évolution du pourcentage de dépassement des seuils de CF de 1 000, 200 et 100 UFC/100 ml à l'aide des données disponibles sur l'ensemble de la période de suivi (de 1990 à 2013). Les résultats de cette analyse (non présentés) sont, dans l'ensemble, semblables à ceux obtenus aux 17 stations à l'aide des deux premières analyses, ce qui suggère qu'ils sont généralement représentatifs de l'ensemble de la plage des valeurs de CF.

Les résultats aux cinq stations n'ayant pas montré de tendance significative pour l'été et l'hiver à l'aide de la deuxième analyse (tableau 5) sont demeurés les mêmes à l'aide de la régression logistique pour les trois seuils de CF. Dans le cas du ruisseau Vacher, qui présentait une baisse de CF lors de la première analyse seulement (tableau 4), une analyse complémentaire par régression logistique sur les mêmes données, en ajoutant une variable dichotomique pour la saison, n'a montré une tendance significative à la baisse pour aucun des trois seuils.

Parmi les 12 stations ayant affiché une tendance significative pour l'été ou l'hiver à l'aide de la deuxième analyse (figures 7 à 12), seulement deux présentent des tendances dont le sens est différent, en période estivale seulement, à l'aide de la régression logistique. La station de la rivière Boyer Nord montre une baisse du dépassement du seuil de 1 000 UFC/100 ml et le ruisseau du Point du Jour ne montre une baisse à aucun des trois seuils. Les résultats de l'analyse de tendances par régression logistique permettent en outre de préciser que, selon la station et la saison, les tendances à la baisse observées à l'aide de la deuxième analyse ont été obtenues pour les valeurs dépassant les seuils suivants :

- 1 000, 200 et 100 UFC/100 ml : du Portage (été et hiver), Bras d'Henri (été), du Point du Jour (hiver);
- 1 000 et 200 UFC/100 ml : Boyer Sud et Boyer Nord (été), du Sud-Ouest (hiver), Saint-Pierre (été);
- 200 et 100 UFC/100 ml : Boyer Sud et Honfleur (hiver), Ewing (hiver);
- 1 000 UFC/100 ml : Boyer (hiver).

La baisse hivernale observée aux deux stations de la rivière Boyer Sud (Boyer Sud et Honfleur) pour les seuils de 1 000 et 200 UFC/100 ml s'est faite par saut, ce qui tend à confirmer l'efficacité des étangs aérés de Honfleur pour diminuer les valeurs plus élevées de CF en hiver. Dans d'autres cas, la forme de la baisse de CF a différé de celle de la deuxième analyse. Ainsi, la baisse en hiver observée à la station de la rivière Boyer pour le seuil de 1 000 UFC/100 ml ne s'est pas faite par un saut. Ce résultat suggère que l'influence sur cette station des interventions ponctuelles d'assainissement mises en évidence aux stations du ruisseau du Portage et de la rivière Boyer Sud, en amont, n'est pas clairement définie. Au ruisseau du Portage, la baisse a été observée en hiver pour les trois seuils, mais un saut a été détecté au seuil de 1 000 UFC/100 ml seulement, les dépassements des autres seuils ayant diminué de façon progressive. Ce résultat suggère que l'effet de l'élimination des rejets directs d'une résidence située en amont rapproché de cette station à la date du saut est plus clairement défini pour les valeurs de CF élevées. À la station de la rivière du Sud-Ouest, une baisse par saut n'a été détectée en période hivernale que sur les valeurs supérieures à 1 000 UFC/100 ml. Finalement, le changement de pente n'a pas été détecté dans la baisse en été à la station Boyer Sud, observée pour les seuils de 1 000 et 200 UFC/100 ml.

L'analyse par régression logistique permet également de préciser que la hausse des CF en période estivale à la station du ruisseau Walbridge a touché les valeurs supérieures à 1 000 UFC/100 ml. L'ajout des débits d'un cours d'eau avoisinant (rivière aux Brochets) à l'analyse de régression logistique (analyse

à l'aide du logiciel SigmaStat, non présentée) tend à confirmer que la hausse du dépassement du seuil de 1 000 UFC/100 ml observée au ruisseau Walbridge serait associée à des facteurs hydrologiques plutôt qu'à de nouveaux apports de CF en provenance du bassin versant.

2.3.4 Efficacité des interventions d'assainissement

Une analyse des données disponibles pour la période de 1990 à 1997 montre une relation significative au seuil de 5 % ($p = 0,012$) entre l'ajout de capacité d'entreposage étanches dans le bassin versant de la rivière Boyer (Boyer, Boyer Sud, Boyer Nord, du Portage et Honfleur) et la diminution des concentrations estivales de CF (de mai à octobre), en enlevant, à l'aide d'un saut, l'effet de la mise en exploitation des stations de traitement des eaux usées municipales (figure 13). L'évolution des cheptels au cours de la période n'est pas corrélée ($p = 0,36$) avec la baisse des CF. L'évolution des CF pendant la période hivernale, évaluée à quatre des cinq stations, n'est pas non plus corrélée avec l'ajout de capacité d'entreposage ($p = 0,25$) ou avec l'évolution du cheptel ($p = 0,28$). La faible puissance des tests et les pentes observées suggèrent toutefois qu'un nombre plus élevé de stations pourrait confirmer les liens entre ces variables. L'absence d'effet significatif de l'entreposage des déjections animales sur les CF en période hivernale pourrait aussi s'expliquer par le fait qu'au cours de cette période, les déjections entreposées dans des ouvrages non étanches (cours d'exercice, amas de fumier au champ ou contigus au bâtiment d'élevage) sont généralement gelées et ne contribuent donc pas à la contamination. Une contribution est toutefois possible lors des redoux hivernaux. Les amas de déjections au champ ou contigus à un bâtiment d'élevage proviennent d'environ 10 % des UA dans le bassin versant de la rivière Boyer, selon les données disponibles dans le SAGO.

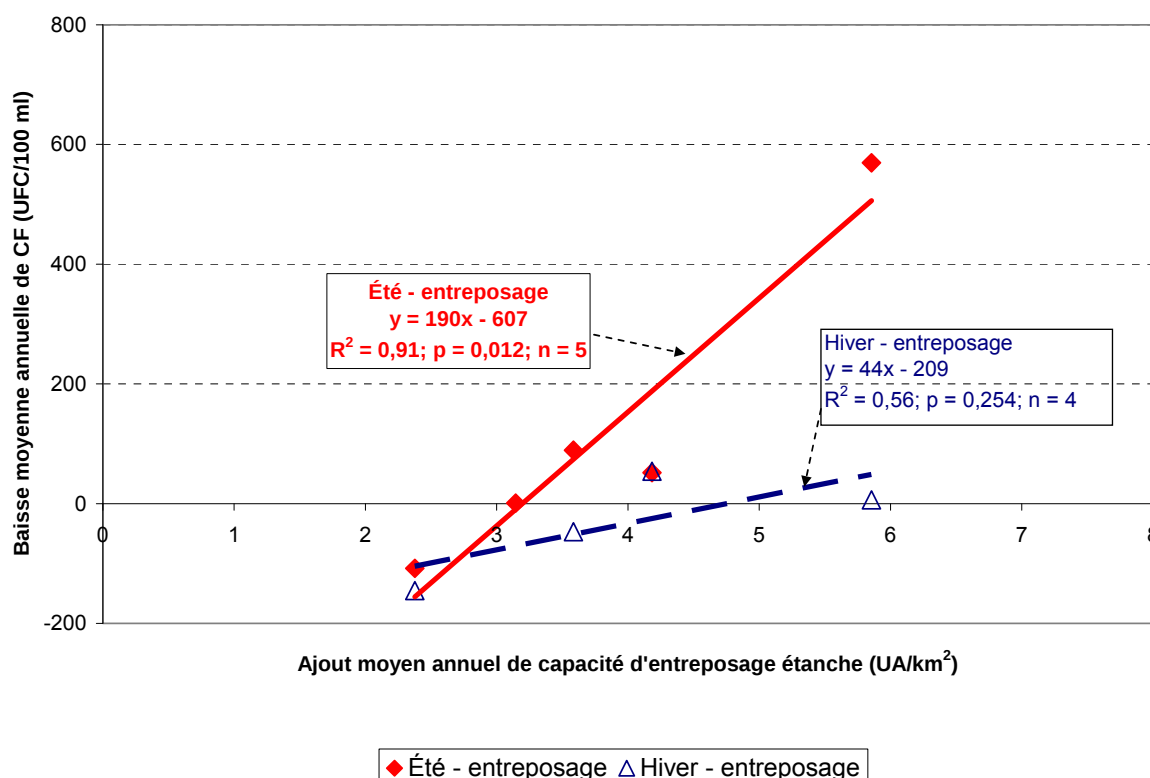


Figure 13 Effet de l'ajout de capacité d'entreposage des déjections animales sur la diminution des CF aux stations de la rivière Boyer, pour la période de 1990 à 1997

Dans une étude portant sur quatre bassins versants au Vermont, Meals (1992) a aussi observé une baisse des CF dans les ruisseaux positivement corrélée ($p < 0,10$) avec l'ajout de capacité d'entreposage

des déjections animales et avec la baisse de la densité animale sur le territoire. Gangbazo et Painchaud (1999) ont également attribué à l'entreposage étanche des déjections animales la réduction de la contamination bactériologique observée à certaines stations, en raison notamment de l'élimination des rejets auparavant déversés directement dans les cours d'eau. L'entreposage étanche des déjections animales permet en effet d'éliminer l'écoulement direct vers les cours d'eau de leur fraction liquide et des eaux de pluie et de fonte des neiges qu'elles contaminent. L'entreposage d'une durée suffisante permet aussi d'abaisser leur contenu en CF. Patni et autres (1985) ont observé que l'entreposage de longue durée du lisier sans ajout de déjections fraîches a permis de diminuer son contenu en CF de plus de 99 %. Meals et Braun (2006) ont aussi noté une diminution de plus de 99 % des *E. coli* en 90 jours d'entreposage pour du lisier de bovins laitiers, alors que Côté et autres (2006) ont constaté une baisse de 90 % des *E. coli* dans le lisier de porc en 15 à 26 jours d'entreposage et un abaissement sous la limite de détection (10 UFC/g ou 1 000 UFC/100 ml) en 54 à 114 jours. La contamination bactériologique des déjections peut toutefois demeurer importante à la suite de leur entreposage.

Une capacité d'entreposage suffisante permet également d'enrayer certaines pratiques propices à la contamination bactériologique. L'enlèvement des couverts de glace des réservoirs à lisier à l'aide d'une pelle mécanique, pour compenser un manque de capacité d'entreposage, représente un risque de contamination important lorsque ces couverts sont déposés sur le sol avoisinant. Des valeurs de CF variant de 3 700 à 11 000 000 UFC/100 ml mesurées dans la glace enlevée d'un réservoir à lisier et dans la neige contaminée en aval le démontrent (annexe 7). Le manque de capacité d'entreposage favorise également l'épandage des déjections animales en dehors des périodes de culture, soit au début du printemps ou à l'automne, parfois sur un sol gelé ou enneigé, malgré l'interdiction réglementaire datant de 1981. Cette pratique augmente le risque de contamination bactériologique des eaux de ruissellement et de drainage souterrain (Spiehs et Goyal, 2007; Jamieson et autres, 2002). Le contrôle de l'enlèvement des couverts de glace et de l'épandage sur sol enneigé effectué depuis le début des années 1990 devrait avoir contribué à l'amélioration de la qualité de l'eau observée dans certains bassins versants entre 1990 et 1997. La diminution des volumes d'engrais de ferme épandus après les récoltes entre 1998 et 2007, qui sont passés de 69 % à 24 % dans les prairies et de 46 % à 34 % dans les cultures annuelles au Québec (BPR, 2008), devrait également avoir contribué, de concert avec d'autres pratiques bénéfiques comme le retrait du bétail des cours d'eau, à la baisse de CF observée à certaines stations depuis 1997. Toutefois, l'effet de ces pratiques bénéfiques a pu être atténué par des augmentations de cheptel.

Les relations significatives liant la densité animale dans les bassins versants et les valeurs de CF mesurées dans les ruisseaux et les rivières (Patoine, 2011) tendent en effet à confirmer l'effet vraisemblable d'un changement dans l'indicateur de pression que représente la densité animale sur les tendances de CF observées. Ces relations montrent aussi l'influence des sources de contamination plus ponctuelles que peuvent représenter les passages d'animaux et les rejets de résidences isolées, notamment lorsqu'elles sont situées en amont immédiat des stations d'échantillonnage. Par ailleurs, l'effet favorable du retrait des animaux des cours d'eau est documenté. Hagedorn et autres (1999) ont observé, en Virginie, une réduction de moitié des CF en saison estivale à la suite de l'interdiction d'accès des animaux à un cours d'eau. Au Vermont, l'implantation de mesures de protection des rives, incluant l'interdiction d'accès des animaux aux cours d'eau et la restauration des bandes riveraines, a aussi permis de réduire de moitié la concentration de CF et d'*E. coli* dans des cours d'eau drainant des superficies de 10 à 15 km² (Meals, 2001; 2004).

Les résultats de l'analyse par saison suggèrent que les interventions réalisées par le secteur agricole, comme l'entreposage des déjections animales et le retrait des animaux des cours d'eau, ou les changements dans l'agriculture, comme une baisse des cheptels (tableau 2), ont été d'importance suffisante pour entraîner une diminution significative des valeurs de CF en période estivale seulement, à certaines stations. La diversité et la répartition spatiale différente d'un bassin versant à l'autre des actions dans le secteur agricole ainsi que le niveau de précision des données répertoriées permettant de les quantifier limitent toutefois les possibilités d'établissement de liens de cause à effet. Dans le cas des rejets humains, la mise en exploitation d'étangs aérés a permis la détection d'un saut significatif à la baisse des CF en période hivernale seulement. Une baisse significative des CF a été observée pour les deux saisons à la suite du traitement des eaux usées d'une résidence, qui se déversaient en amont immédiat de la station du ruisseau du Portage, et d'une réduction de l'accès du bétail au cours d'eau. Les

densités humaines ayant peu changé (annexe 2), elles ne peuvent expliquer les baisses de CF constatées à certaines stations.

Le saut significatif à la baisse des CF en période hivernale aux stations 02300002 ($0,4 \log_{10}$) et 02300005 ($0,87 \log_{10}$) dans le bassin versant de la rivière Boyer Sud et à la station 03030237 ($0,47 \log_{10}$) de la rivière du Sud-Ouest, consécutif à la mise en exploitation d'étangs aérés, peut s'expliquer par la capacité de ces ouvrages d'assainissement à abaisser les CF. Les travaux de Locas et autres (2010) montrent en effet que les étangs aérés permettent de diminuer les CF de l'ordre de $3 \log_{10}$ en conditions froides (affluent : $5 \log_{10}$; effluent : $2 \log_{10}$).

En période estivale, Locas et autres (2010) rapportent une efficacité accrue des étangs aérés, avec une diminution des CF de l'ordre de $5 \log_{10}$ (affluent : $6 \log_{10}$; effluent : $1 \log_{10}$). Le suivi des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux (SOMAE) effectué par le ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMROT, 2010) indique que la moyenne géométrique des valeurs de CF mesurées à l'effluent de mai à octobre a varié, selon les années, de 20 à 256 UFC/100 ml à la station d'épuration de Honfleur et de 238 à 1 440 UFC/100 ml à celle de Sainte-Brigide-d'Iberville. Ces résultats confirment l'efficacité des étangs aérés en été. L'absence de détection de saut significatif à la baisse des CF en période estivale peut être liée à la plus grande variabilité des données influencées par les sources diffuses de pollution ou l'hydrologie et à des conditions qui défavorisent la survie de ces bactéries indicatrices entre le point de rejet et la station de qualité de l'eau, comme la température chaude, l'exposition accrue aux radiations solaires et la prédation. Une étude réalisée en France (Jestin, 1998) a d'ailleurs montré le rôle majeur des prédateurs benthiques dans la disparition des bactéries *E. coli* en rivière en conditions de faible débit lorsque la température de l'eau dépasse 15°C .

Les résultats des analyses de tendances suggèrent en outre que les efforts d'assainissement agricole ont eu un effet limité sur la contamination bactériologique des cours d'eau. Entre 1990 et 1997, les ajouts de capacité d'entreposage des déjections animales, combinés à une diminution de la densité animale, ont permis de mesurer une baisse significative des valeurs estivales de CF à deux stations. Entre 1997 et 2013, une diminution significative des valeurs estivales de CF n'a été observée qu'à 5 des 17 stations et elle s'explique surtout par le retrait du bétail des cours d'eau en amont rapproché de la station d'échantillonnage. De plus, les concentrations estivales de CF dépassent fréquemment les critères de qualité de l'eau du MDDELCC (MDDEFP, 2013) pour l'irrigation et les activités de contact direct et indirect à la plupart des 17 stations. En période hivernale, les baisses observées à huit stations correspondent surtout à la mise en place d'un traitement des eaux usées domestiques. L'absence de diminution significative des CF à la plupart des stations depuis 1997 peut s'expliquer par le fait que plusieurs éléments qui pourraient réduire les risques de contamination bactériologique demeurent faiblement contrôlés, par exemple les apports provenant du stockage des déjections animales en amas au champ, sur le sol contigu au bâtiment d'élevage ou dans une cour d'exercice extérieure ou encore le lessivage consécutif à l'épandage dans des conditions météorologiques ou de sol défavorables.

La plupart des données disponibles sur l'efficacité des interventions d'assainissement concernent les bactéries indicatrices et non les organismes pathogènes (Dufour et autres, 2012). Une meilleure connaissance de l'efficacité des pratiques agricoles pour réduire les organismes pathogènes aiderait à mieux déterminer les interventions d'assainissement.

Finalement, une meilleure connaissance des relations entre les CF dans les cours d'eau et un changement des activités dans les petits bassins versants agricoles pourrait aussi aider à estimer l'effet prévisible d'interventions d'assainissement ou encore d'ajout de cheptel sur les bassins versants peu contaminés et contribuer, par le fait même, à la prise de décision en vue de réduire le risque lié à la contamination microbienne.

CONCLUSION

Un suivi des coliformes fécaux (CF) dans les petits cours d'eau en milieu agricole a été progressivement mis en place parallèlement aux programmes et règlements sur le contrôle de la pollution d'origine agricole. L'analyse des données les plus récentes mesurées à 51 stations a montré que les concentrations estivales de CF dépassent fréquemment les critères de qualité de l'eau pour les usages récréatifs et agricoles, qui se tiennent essentiellement en été. De plus, les concentrations moyennes annuelles de CF dépassent le critère de 200 UFC/100 ml pour l'eau brute destinée à l'approvisionnement en eau potable aux stations situées en amont hydrologique de prises d'eau potable. L'analyse des tendances à 17 stations comportant des séries chronologiques de durée suffisante a montré une baisse significative des concentrations de CF en période estivale à seulement 6 stations, ce qui suggère un effet limité des interventions d'assainissement agricole réalisées depuis 1997, lesquelles sont principalement orientées sur le phosphore. L'ajout d'aires d'entreposage étanches des déjections animales et le retrait du bétail des cours d'eau figurent parmi les interventions ayant contribué aux améliorations observées. Ces résultats indiquent en outre que la qualité bactériologique des cours d'eau en milieu agricole ne pourra s'améliorer sans que des efforts supplémentaires soient consentis.

Les principes de précaution, de protection de l'environnement et d'efficacité économique incitent à réduire la contamination bactériologique à la source, non seulement dans le cas des activités récréatives de contact où l'eau ne peut subir aucun traitement, mais également dans le cas où l'eau est utilisée après un traitement. L'utilisation généralisée de meilleures méthodes d'assainissement des déjections animales aiderait à rendre les divers usages de l'eau plus sécuritaires.

Parmi les limites de cette étude, notons que les facteurs hydrologiques (précipitations, débits), souvent associés à un risque plus élevé, ont peu été pris en compte. De plus, les bactéries indicatrices ne représentent pas bien certaines caractéristiques des organismes pathogènes.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) et WEF (Water Environment Federation) (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20^e éd., APHA, Washington [D.C.], 937 p.

BEIJK, R., D. Mooibroek, J. Van de Kasstele et R. Hoogerbrugge (2008). *PM10: Equivalence study 200. Demonstration of equivalence for the automatic PM₁₀ measurements in the Dutch national air quality monitoring network: A technical background report*, Bilthoven [P.-B.], National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), 52 p. [Report 680708002/2008], [http://www.rivm.nl/dsresource?objectid=rivmp:18533&type=org&disposition=inline&ns_nc=1].

BPR (Consultants BPR inc.) (2008). *Suivi 2007 du Portrait agroenvironnemental des fermes du Québec : rapport final*. Disponible à <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/md/Publications/Pages/Details-Publication.aspx?guid={3fcc5e09-ea9f-4cfa-a4db-91beff2a993b}> (consulté le 13 août 2013).

BROCHU, V. (2011). Le CBE s'active à la mise en valeur d'habitats pour la faune dans deux bassins versants agricoles. *Bulletin Le SymbiOse*, hiver-printemps 2012, année 9, n° 18, Disponible à http://www.cbetchemin.qc.ca/index.php?option=com_docman&Itemid=64 (consulté le 13 août 2013).

CAC (Conseil des académies canadiennes), 2013. *L'eau et l'agriculture au Canada : vers une gestion durable des ressources en eau*. Le comité d'experts sur la gestion durable de l'eau des terres agricoles au Canada, Ottawa, Conseil des académies canadiennes, 298 p., [http://www.scienceadvice.ca/uploads/fr/assessments%20and%20publications%20and%20news%20releases/Water-Agri/WAG_fullreportFR.pdf].

CCME (Conseil canadien des ministres de l'environnement) (2005). *Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection des utilisations de l'eau à des fins agricoles – tableau sommaire*, mis à jour en octobre 2005, dans *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*, 1999, Winnipeg, Le Conseil.

CEAEQ (Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec) (2006). *Recherche et dénombrement d'Escherichia coli thermotolérant : méthode par filtration sur membrane utilisant le milieu de culture mTEC modifié*, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 20 p. [MA. 700 – Ec-mTEC 1.0, rév. 2].

CEAEQ (Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec) (2014). *Recherche et dénombrement des coliformes thermotolérants (fécaux) et confirmation à l'espèce Escherichia coli : méthode par filtration sur membrane*, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 20 p. [MA. 700 – Fec.Ec 1.0, Rév. 5], [<http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/pdf/MA700FecEc10.pdf>].

CLUIS, D. (1989). *Logiciel de détection de tendances en qualité de l'eau [DETECT]*, version 2.0, [Logiciel], Québec, INRS-EAU.

COTE, C., A. VILLENEUVE, L. LESSARD et S. QUESSY (2006). "Fate of pathogenic and nonpathogenic microorganisms during storage of liquid hog manure in Québec", *Livestock Science*, vol. 102, p. 204-210.

DUFOUR, A., J. BARTRAM, R. BOS et V. GANNON (2012). *Animal Waste, Water Quality and Human Health*, London, IWA Publishing, 476 p.

EDGE, T.A., A. El-Shaarawi, V. Gannon, C. Jokinen, R. Kent, I.U.H. Khan, W. Koning, D. Lapen, J. Miller, N. Newmann, R. Phillips, W. Robertson, H. Schreier, A. Scott, I. Shtepani, E. Topp, G. Wilkes et E. van Bochove (2012). "Investigation of an *Escherichia coli* environmental benchmark for waterborne pathogens in agricultural watersheds in Canada", *Journal of Environmental Quality*, vol. 41, n° 1, p. 21-30.

FOURNIER, A. (1999). *Guide d'évaluation de la qualité de l'eau pour les bovins laitiers*, MAPAQ – Centre du Québec, Agri-Réseau, 3 p. [Fiches techniques], [<http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/Documents/bov20.pdf>].

GANGBAZO, G., et J. PAINCHAUD (1999). « Incidence des politiques et programmes d'assainissement agricole sur la qualité de l'eau de six rivières – 1988-1995 », *Vecteur Environnement*, vol. 32, n° 1, p. 29-36.

GELDREICH, E. E. (1978). "Bacterial populations and indicators concepts in feces, sewage, stormwater and solid wastes", dans BERG, Gerald, éd. *Indicators of viruses in water and food*, Michigan, Ann Arbor, Ann Arbor Science, p. 51-97.

GELDREICH, E., et N. A. CLARKE (1966). "Bacterial pollution indicators in the intestinal tract of freshwater fish", *Applied Microbiology*, vol. 14, n° 3, p. 429-437.

GOQ (Gazette officielle du Québec) (1997). « Règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole (D. 742-97, 1997, G.O. 2, 3483) », *Gazette officielle du Québec*, vol. 129, n° 24, partie 2, 18 juin 1997, p. 3483-3509.

GOQ (Gazette officielle du Québec) (2014). « Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (D. 696-2014, 2014, G.O. 2, 2729) », *Gazette officielle du Québec*, vol. 146, n° 31, partie 2, 30 juillet 2014, p. 2729-2759.

GUZMAN, M.C., M. DE LOS ANGELES BISTONI, L. M. TAMAGNINI et R.D. GONZALEZ (2004). "Recovery of *Escherichia coli* in fresh water fish, *Jenynsia multidentata* and *Byconamericus iheringi*", *Water Research*, vol. 38, p. 2368-2374.

HAGEDORN, C., S.L. ROBINSON, J.R. FILTZ, S.M. GRUBBS, T.A. ANGIER, et JR. R.B. RENEAU (1999). "Determining sources of fecal pollution in a rural Virginia watershed with antibiotic resistance patterns in fecal streptococci", *Applied Environmental Microbiology*, vol. 65, n° 12, p. 5522-5531.

HIRSCH R.M. et J.R. SLACK (1984). "A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence", *Water Resources Research*, vol. 20, n° 6, p. 727-732.

JAMIESON, R.C., R.J. GORDON, K.E. SHARPLES, G.W. STRATTON et A. MADANI (2002). "Movement and persistence of fecal bacteria in agricultural soils and subsurface drainage water: A review", *Canadian biosystems engineering*, vol. 44, p. 1.1-1.9.

JESTIN, E. (1998). *Disparition des Escherichia coli dans les rivières normandes*. [Résumé d'étude n° 98 LITT 1]. Disponible à <http://www.eau-seine-normandie.fr/index.php?id=3263> (consulté le 9 août 2013).

LOCAS, A., V. MARTINEZ et P. PAYMENT (2010). "Removal of human enteric viruses and indicator microorganisms from domestic wastewater by aerated lagoons", *Canadian Journal of Microbiology*, vol. 56, n° 2, p. 188-194.

MAMROT (Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire) (2010). *Évaluations annuelles de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux*. Disponible à <http://www.mamrot.gouv.qc.ca/infrastructures/suivi-des-ouvrages-dassainissement/> (consulté le 14 décembre 2011).

MAPAQ (Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec) (2010). « Rivière Belair : les producteurs l'ont à cœur! », *Journal Vision agricole*, février 2010. Disponible à <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/bs1969331> (consulté le 5 mars 2015).

MAPAQ (Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec) (2015). *Données de financement du programme Prime-Vert - Aération des étangs d'irrigation*, [Courriel à Michel Patoine], (michel.patoine@mddelcc.gouv.qc.ca).

MDDELCC (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques) (s. d.). *Programme Environnement-Plage*. Disponible à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/programmes/env-plage/index.htm> (consulté le 15 août 2014).

MDDEFP (Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs) (2013). *Critères de qualité de l'eau de surface*, 3^e édition, Québec, Le Ministère, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Québec, 510 p. et 16 ann. [ISBN 978-2-550-68533-3 (PDF)], [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/criteres.pdf].

MDDEP (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs) (2000). *Portrait global de la qualité des eaux au Québec, édition 2000*. Disponible à <http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/sys-image/global/index.htm> (consulté le 13 août 2013).

MEALS, D.W. (1992). "Relating land use and water quality in the St. Albans Bay Watershed, Vermont", dans U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, éd. *Proceedings of the National Rural Clean Water Program Symposium – 10 years of controlling agricultural nonpoint source pollution: the RCWP experience*, Orlando [Flor.], 13-17 septembre 1992, p. 131-143. [EPA/625/R-92/006], [<http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/30004JUJ.pdf>].

MEALS, D. W. (2001). "Water quality response to riparian restoration in an agricultural watershed in Vermont, USA", *Water Science and Technology*, vol. 43, n° 5, p. 175-182.

MEALS, D. W. (2004). "Water quality response to riparian restoration in two Vermont agricultural watersheds", dans NC STATE UNIVERSITY STREAM RESTORATION INSTITUTE, éd. *Conference proceedings NC SRI Southeastern regional conference on stream restoration*, Winston-Salem [Car. du N.], 21-24 juin 2004, p. 31-32, [http://www.bae.ncsu.edu/programs/extension/wqg/sri/2004_conference/proceedings.pdf].

MEALS D.W. et D.C. BRAUN (2006). "Demonstration of methods to reduce *E. coli* runoff from dairy manure application sites", *Journal of Environmental Quality*, vol. 35, p. 1088-1100, [http://www.stone-env.com/docs/prespaperabs/JEQ_2006_Dairy_Manure_Runoff.pdf].

MEF (Ministère de l'Environnement et de la Faune) (1998). *Bassin versant de la rivière Boyer - 1998*, Québec, [Document rédigé par le ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec en collaboration avec le Groupe d'intervention pour la restauration de la Boyer (GIRB) dans le contexte de l'entente Saint-Laurent Vision 2000, envirodoq n° 980301]. Disponible à <http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/bassins/boyer/index1.htm> (consulté le 13 août 2013).

MÉNARD, L., R. ESCARNÉ, D.J. MARCOGLIESE, D. CYR, M. FOURNIER et F. GAGNÉ (2010). "The impacts of urban pollution on the immune system of spottail shiners (*Notropis hudsonius*) in the St. Lawrence river", *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 19, n° 7, p. 1369-1374.

MUNOZ, M.A., C. AHLSTROM, B.J. RAUCH et R.N. ZADOKS (2006). "Fecal shedding of *Klebsiella pneumoniae* by dairy cows", *Journal of Dairy Science*, vol. 89, p. 3425-3430.

PATNI N.K., H.R. TOXOPEUS et P.Y. JUI (1985). "Bacterial quality of runoff from manured and non-manured cropland", *Transactions of the ASAE*, vol. 28, n° 6, p. 1871-1877 et 1884.

PATOINE, M. (2011). « Influence de la densité animale sur la concentration de coliformes fécaux dans les cours d'eau du Québec méridional, Canada », *Revue des sciences de l'eau*, vol. 24, n° 4, p. 421-435, [<http://www.erudit.org/revue/rseau/2011/v24/n4/1007628ar.html?vue=resume>].

PATOINE, M. et F. D'AUTEUIL-POTVIN (2013). *Tendances de la qualité de l'eau de 1999 à 2008 dans dix bassins versants agricoles au Québec*, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, 22 p. + 7 ann., [ISBN 978-2-550-68544-9 (PDF)], [<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/bassins/10bassins-1998-2008/tendance-qualite-eau1999-2008-10bv-agricole.pdf>].

RASMUSSEN, P. et A.C. ZIEGLER (2003(2003). *Comparison and continuous estimates of fecal coliform and Escherichia coli bacteria in selected Kansas streams, may 1999 through april 2002*, Lawrence [Kans.], USGS, 494 p., [<http://ks.water.usgs.gov/pubs/reports/wrir.03-4056.pdf>].

SAS INSTITUTE (2003). *SAS/STAT 9.1 user's guide*, Cary [Car. du N.], SAS Institute. Disponible à <http://support.sas.com/91doc/docMainpage.jsp> (consulté le 13 août 2013).

SPIEHS, M. Et S. Goyal (2007). *Best management practices for pathogen control in manure management systems*, Université du Minnesota, 10 p., [<http://www.extension.umn.edu/distribution/livestocksystems/components/8544.pdf>].

STATISTIQUE CANADA (2013a). *Utilisation de l'eau à des fins agricoles au Canada - 2010 – Mise à jour*, [Numéro 16-402-X au catalogue], [<http://www.statcan.gc.ca/pub/16-402-x/16-402-x2011001-fra.pdf>].

STATISTIQUE CANADA (2013b). *Utilisation de l'eau à des fins agricoles au Canada - 2012*, [Numéro 16-402-X au catalogue], [<http://www.statcan.gc.ca/pub/16-402-x/16-402-x2013001-fra.pdf>].

USDA (United States Department of Agriculture) (2009). "Impacts on agricultural uses", dans USDA, Natural Resources Conservation Service. *Part 651. Agricultural waste management. Field handbook*, 210-VI-AWMFH, mis à jour le 31 juillet 2009, Washington [D.C.], USDA, Natural Resources Conservation Service, p. 1-18 et 1-19, [<ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/wntsc/AWM/handbook/ch1.pdf>].

WU, J., C. LONG, D. DAS et S.M. DORNER (2011). "Are microbial indicators and pathogens correlated? A statistical analysis of 40 years of research", *Journal of Water and Health*, vol. 9, n° 2, p. 265-278.

ZDANOWICZ, M. (2002). *Sand and sawdust bedding affect population of coliforms, Klebsiella Spp. and Streptococcus Spp. on teat ends of dairy cows housed in freestalls*, Thèse de maîtrise, Université de Colombie-Britannique, 48 p., [http://www.landfood.ubc.ca/animalwelfare/publications/pdfs/theses/zdanowicz_thesis15.pdf].

Annexe 1 Nombre de têtes et production de coliformes fécaux par unité animale

Ratios DSEE - Statistique Canada ^a			Ratios SAGO ^b		Production de CF par UA ^c		
Regroupement de cheptel	Tête par UA	Cheptels POA	Tête par UA	(log10 UFC/jour)			
				ASAE (1998)	Geldreich (1978)	WHPA (2004)	
BOVINS							
Bouvillons de + 1 an	1	Bouvillon de finition	1,58	11,0		10,3	
		Bovin de semi-finition	2				
Génisses et taures de + 1 an	1	Taure (15 mois et plus)	2				
		Génisse laitière (10-18 mois)	2				
		Génisse de boucherie (8-15 mois)	2				
		Génisse (11 jours-15 mois)	0				
Taureaux, 1 an et +	1	Taureau	1				
Vaches de boucheries	1	Vaches boucherie et son veau	1				
Vaches laitières	1	Vache laitière (inclut veau jusqu'à 11 jours)	1	11,0	9,7	10,7	
Veaux de - 1 an	5	Veau laitier (0-2 mois), de grain, de lait	5				
		Veau laitier (2-10 mois)	0				
		Veau de boucherie (< 6 mois)					
PORCINS							
Porcelets sevrés et non sevrés	25	Porcelets sevrés	25				
		Porcelet (4,5-19,9 kg)	0				
Porcs d'engraissement et finition	5	Porcs d'engraissement	5	10,7	10,6	10,4	
Truies, cochettes de reproduction	4	Truie et porcelets non sevrés, cochette	4				
Verrats	2	Verrat	5				
VOLAILLES							
Dindons et dindes	75	Dindon à griller (= 9,9 kg), lourd (> 9,9 kg)	75	9,9	10,0		
Poules et poulets	250	Poulet à griller (= 3 kg), poulet de grain	250	10,5	10,8	10,5	
		Poule pondeuse	125				
		Poulet à rôtir (> 3 kg) ou d'élevage	125				
Autres volailles	250	Canard (0-16 semaines), faisan	125				
		Oie reproductrice	70				
		Pintade (0-18 semaines)	301				
		Oie (0-23 semaines)	83				
		Caille	1 500				
AUTRES CATÉGORIES D'ÉLEVAGE							
Bisons	1	Bison	1				
Chevaux et poneys	1	Cheval, étalon, hongre, jument	1	8,6		10,4	
	1	Poulain, pouliche	1				
Chèvres	6	Chèvre laitière ou angora	6				
Chevreaux	5						
Élans (wapitis)	1	Wapiti	0				
Lamas et alpagas	4,5	Lama	0				
Lapins	40	Lapin, lapine (femelle accouplée et future)	40				
Moutons et agneaux	4	Brebis et sa production annuelle	4	10,7	10,9	9,6	
	4	Bélier reproducteur	4				
Renards	40	Renard	39				
Sangliers	6	Sanglier femelle ou laie	5				
Visons	100	Vison	96				

a : Regroupements de cheptels et facteurs utilisés par la Direction du suivi de l'état de l'environnement (DSEE) du MDDELCC pour transformer les nombres d'animaux des données du Recensement de l'agriculture de Statistique Canada en unités animales; b : Regroupements de cheptel et facteurs utilisés dans la version 2005 du module Pollution d'origine agricole (POA) du SAGO pour transformer les nombres d'animaux des visites ferme par ferme en unités animales; c : Production journalière de coliformes fécaux (unités formatrices de colonies – UFC) par unité animale (UA), exprimée en logarithme de base 10, selon trois sources, en utilisant les nombres de têtes par unité animale de la DSEE – Statistique Canada. Les valeurs provenant de WHPA (2004) sont des *E. coli*.

Annexe 2 Occupation du territoire et assainissement des eaux

Tableau A2a Densités animales et accès du bétail aux cours d'eau

Numéro BQMA ^a	Cours d'eau	Densité animale ^b (UA/km ²)				ACE ^c (UA/km ²)	
		1991	1996	2001	2006	2003-2005	2008-2010
02190010	Petite rivière Neigette	--	--	--	12	--	--
02200022	Levasseur	--	--	9	7	2,1	0,0
02E90002	Fouquette	--	33	29	34	11	0,0
02300001	Boyer	96	82	113	103	3,1	0,0
02300002	Boyer Sud	141	110	143	137	5,3	0,0
02300003	Boyer Nord	118	99	161	137	0,94	0,0
02300004	Du Portage	47	53	65	65	5,5	0,0
02300005	Honfleur	168	131	146	142	10,6	0,0
02300013	Grillade	--	--	105	98	0,0	0,0
02330029	Saint-Patrice	--	29	47	48	0,0	0,0
02330048	Du Moulin Bernier	--	--	--	79	--	--
02330050	Le Bras	--	--	--	96	--	--
02340086	Des Îles Brûlées	--	355	370	321	13,3	3,0
02340091	Turmel	--	--	85	88	12,0	0,0
02340092	Binet	--	--	70	74	0,0	0,0
02340093	Belair	--	--	65	66	1,5	1,5
02340098	Morency	--	56	58	56	12,4	0,0
02340099	Bras d'Henri	--	256	270	239	11,8	2,2
02340119	Laflamme	--	--	--	55	--	--
02350002	Bourret	--	--	--	24	--	--
02400048	Bourbon	--	--	--	38	--	--
02500001	Des Moulanges	--	--	--	22	--	--
03010046	Saint-Zéphirin	--	--	--	64	--	--
03010086	Saint-Zéphirin amont	--	--	--	51	--	--
03020065	Brook	--	--	--	42	--	--
03020388	Veillette	--	--	67	61	9,3	0,0
03020389	Bradley	--	--	--	57	--	--
03030008	Runnels	--	91	94	77	0,28	0,28
03030110	À la Barbue	--	--	--	179	--	--
03030237	Du Sud-Ouest	--	109	124	117	0,38	0,38
03030253	Des Aulnages	--	146	138	109	0,11	0,0
03040066	Walbridge	--	76	73	95	18,2	0,0
03040073	Ewing	--	70	73	71	0,0	0,0
03040195	À l'Ours	--	--	--	22	--	--
03090018	De l'Esturgeon	--	--	--	20	--	--
04310084	Rousse	--	--	--	9	--	--
05050096	Le Grand Bras amont	--	--	3	5	0,0	0,0
05050097	Le Grand Bras	--	--	8	11	--	--
05050098	Le Petit Bras	--	--	19	19	--	--
05050099	Du Moulin	--	--	27	25	--	--
05050100	La Chevrotière	--	--	20	19	--	--
05080053	Aux Pommes	--	13	13	12	0,49	0,0
05220063	Du Point du Jour	--	17	18	14	0,36	0,0
05220239	Vacher	--	50	52	46	0,0	0,0
05220240	Saint-Pierre	--	30	30	28	1,1	0,0
05220241	Saint-Esprit	--	72	56	81	0,0	0,0
05220249	Desrochers	--	46	50	40	0,0	0,0
05240014	Bibeau	--	--	--	39	--	--
05280053	Chacoura	--	--	--	65	--	--
06200004	Rouge	--	--	--	19	--	--
12020001	Dauphine	--	--	--	24	--	--

a Numéro de station, Banque de données sur la qualité du milieu aquatique; b : Densité animale calculée à l'aide des cheptels de Statistique Canada (1992, 1997, 2002, 2006); c : ACE = Accès du bétail au cours d'eau selon le SAGO du MDDELCC.

Tableau A2b Densités humaines et données sur le traitement des eaux usées municipales

Numéro BQMA ^a	Cours d'eau	Densité humaine (hab./km ²) ^b				Rejet municipal et traitement ^c (EA=étangs aérés; BA=boues activées)	PD ^d (hab.)	DI ^e	DR ^f (km)
		1992	1996	2001	2007				
02190010	Petite rivière Neigette	--	--	--	11	Aucun rejet municipal			
02200022	Levasseur	--	--	28	35	Aucun rejet municipal			
02E90002	Fouquette	--	25	24	23	Aucun rejet municipal			
02300001	Boyer	27	26	27	27	EA Honfleur 1999-12; BA St-Charles 1987-12	1 850		
02300002	Boyer Sud	20	19	19	19	EA Honfleur 1999-12	400		
02300003	Boyer Nord	42	40	40	40	Aucun rejet municipal			
02300004	Du Portage	17	16	17	18	Aucun rejet municipal			
02300005	Honfleur	19	18	18	18	EA Honfleur 1999-12	400		
02300013	Grillade	--		22	22	Aucun rejet municipal			
02330029	Saint-Patrice	--	17	19	20	Aucun rejet municipal			
02330048	Du Moulin Bernier	--	--	--	8	Aucun rejet municipal			
02330050	Le Bras	--	--	--	23	EA Ste-Hénédine 1989-12	626	Non	9,14
02340086	Des Îles Brûlées	--	37	37	37	BA St-Bernard 1985-05	700		
02340091	Turmel	--	--	21	21	Aucun rejet municipal			
02340092	Binet	--	--	14	16	Aucun rejet municipal			
02340093	Belair	--	--	11	12	EA Sts-Anges 1994-09	293		
02340098	Morency	--	8	9	9	Aucun rejet municipal			
02340099	Bras d'Henri	--	14	14	15	Aucun rejet municipal			
02340119	Laflamme	--	--	--	26	Aucun rejet municipal			
02350002	Bouret	--	--	--	16	Aucun rejet municipal			
02400048	Bourbon	--	--	--	9	RNT Ste-Sophie-d'Halifax	211		4,42
02500001	Des Moulanges	--	--	--	20	Aucun rejet municipal			
03010046	Saint-Zéphirin	--	--	--	13	RNT St-Zéphirin et La Visitation	354		
03010086	Saint-Zéphirin amont	--	--	--	13	Aucun rejet municipal			
03020065	Brook	--	--	--	11	Aucun rejet municipal			
03020388	Veillette	--	--	8	7	Aucun rejet municipal			
03020389	Bradley	--	--	--	8	Aucun rejet municipal			
03030008	Runnels	--	11	11	12	Aucun rejet municipal			
03030110	À la Barbut	--	--	--	34	Aucun rejet municipal			
03030237	Du Sud-Ouest	--	21	18	18	EA Ste-Brigide-d'Iberville 2004-01	825		
03030253	Des Aulnages	--	12	12	13	Aucun rejet municipal			
03040066	Walbridge	--	14	13	13	Aucun rejet municipal			
03040073	Ewing	--	11	11	11	Aucun rejet municipal			
03040195	À l'Ours	--	--	--	23	Aucun rejet municipal			
03090018	De l'Esturgeon	--	--	--	51	Aucun rejet municipal			
04310084	Rousse	--	--	--	50	Aucun rejet municipal			
05050096	Le Grand Bras amont	--	--	2	2	Aucun rejet municipal			
05050097	Le Grand Bras	--	--	2	2	Aucun rejet municipal			
05050098	Le Petit Bras	--	--	29	26	Aucun rejet municipal			
05050099	Du Moulin	--	--	115	112	EA St-Marc-des-Carrières 1999-02	3 131	Non	1,25
05050100	La Chevrotière	--	--	29	28	EA St-Marc-des-Carrières 1999-02	3 131	Non	5,38
05080053	Aux Pommes	--	46	50	53	Aucun rejet municipal			
05220063	Du Point du Jour	--	65	67	75	Aucun rejet municipal			
05220239	Vacher	--	92	82	81	BA St-Jacques 1989-06	2 385		4,48
05220240	Saint-Pierre	--	390	389	404	Aucun rejet municipal; Trop-plein de Joliette			
05220241	Saint-Esprit	--	30	29	31	Aucun rejet municipal			
05220249	Desrochers	--	34	31	31	Aucun rejet municipal			
05240014	Bibeau	--	--	--	13	Aucun rejet municipal			
05280053	Chacoura	--	--	--	15	EA St-Léon-le-Grand 2005-10	248	Non	3,79
06200004	Rouge	--	--	--	32	EA Normandin 1999-12	3 867	Non	5,08
12020001	Dauphine	--	--	--	2	Aucun rejet municipal			

a : Numéro de station, Banque de données sur la qualité du milieu aquatique; b : Densité de la population située dans le bassin versant, exprimée par rapport à la superficie du bassin versant, déterminée à l'aide de l'outil géomatique d'analyse spatiale ArcMap 9.3; c : Traitement, municipalité et année-mois de mise en exploitation du traitement indiqués pour les rejets traités; RNT = Rejets non traités; d : PD = Population desservie; e : DI = Désinfection; f : DR = Distance en ligne droite du rejet municipal à la station BQMA.

Tableau A2c Densité de résidences isolées et conformité des installations septiques

Numéro BQMA ^a	Cours d'eau	Densité de résidences isolées	Permis d'installation septique délivrés de 2000 à 2010	Résidences isolées sans installation septique ou avec rejets dans l'environnement			Gestion de la vidange des fosses septiques
		(n/km ²) ^b	(n/km ²) ^b	(n/km ²) ^b	(%)	(Année)	(Année et MRC ou RIAM) ^c
02E90002	Fouquette	3,5	nd	nd	nd	nd	2005 Kamouraska (M)
02300001	Boyer	6,7	1,7	0,09	1,3	2010	2001 Bellechasse
02300002	Boyer Sud	5,1	1,2	0,10	2,0	2010	
02300003	Boyer Nord	8,8	2,0	0,28	3,2	2010	
02300004	Du Portage	11,6	3,4	0,02	0,2	2010	
02300005	Honfleur	4,2	1,0	0,07	1,7	2010	
02340086	Des Îles Brûlées	1,7	nd ^a	0,13	9,0	2010	2007 Nouvelle-Beauce
02340099	Bras d'Henri	4,9	nd	0,60	10	2010	2007 Nouvelle-Beauce xxxx Lotbinière
03030008	Runnels	4,8	nd	nd	nd	nd	2006 Haute-Yamaska 2011 RIAM xxxx Roxton (M)
03030237	Du Sud-Ouest	3,4	0,59	nd	nd	nd	2007 Sainte-Sabine (M) 2011 Farnham (M) 2012 Rouville xxxx Haut-Richelieu
03030253	Des Aulnages	5,4	nd	nd	nd	nd	2006 Haute-Yamaska 2011 RIAM
03040066	Walbridge	2,0	nd	nd	nd	nd	2005, 2008 Brome-Missisquoi ^d
03040073	Ewing	4,5	nd	nd	nd	nd	xxxx Haut-Richelieu 2005, 2008 Brome-Missisquoi ^d
05220063	Du Point du Jour	18,1	nd	nd	nd	nd	2009 D'Autray xxxx Joliette xxxx L'Assomption
05220239	Vacher	10,1	nd	3,8	38	2003	xxxx Montcalm
05220240	Saint-Pierre	16,4	nd	nd	nd	nd	xxxx Joliette
05220241	Saint-Esprit	11,2	nd	0,07	0,7	2003	xxxx Montcalm

a : Numéro de station, Banque de données sur la qualité du milieu aquatique; n.d. = information non disponible;

b : Nombre (n) de résidences ou de permis par kilomètre carré, exprimé par rapport à la superficie totale du bassin versant;

c : Année de prise en charge de la gestion de la vidange des fosses septiques par la municipalité régionale de comté (MRC) ou les municipalités (M) ou, dans le cas d'Acton et des Maskoutains, par la Régie intermunicipale d'Acton et des Maskoutains (RIAM);
xxxx = Absence de prise en charge par la MRC;

d : En 2005, 20 % des municipalités de la MRC de Brome-Missisquoi avaient pris en charge la gestion de la vidange des boues de fosses septiques sur leur territoire contre 40 % en 2008, selon le bilan 2003-2008 du plan de gestion des matières résiduelles de la MRC disponible à http://mrcbm.qc.ca/common/documentsContenu/docu_outils_bilanpgmr_2008.pdf.

Méthode de calcul

La densité de résidences isolées a été estimée à l'aide des données par municipalité des plans de gestion des matières résiduelles publiés en 2003, 2004 ou 2006 et disponibles à http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/client/fr/gerer/municipalites/Plans_vigueur.asp. Les données manquantes ont été remplacées, pour Saint-Henri, par celles de Côté, 2012.

Le nombre de permis délivrés par kilomètre carré de 2000 à 2010 a été estimé, pour les bassins versants de la rivière Boyer, à l'aide des données de chaque municipalité (MRC de Bellechasse, 2009; Côté, 2012) et, pour celui de la rivière du Sud-Ouest, à l'aide des données de la municipalité de Sainte-Brigide-d'Iberville (Drouin, 2012), qui occupe 65 % de la superficie du bassin versant. Le nombre et le pourcentage de résidences isolées sans installation septique ou avec rejets à l'environnement ont été estimés à l'aide des données de chaque municipalité dans les bassins versants de la rivière Boyer (MRC de Bellechasse, 2009; Côté, 2012) et dans celui de la rivière des Îles Brûlées (Boutin, 2012) et des ruisseaux Vacher et Saint-Esprit (Dessau-Soprin inc. et Solinov inc., 2003). Pour la rivière Bras d'Henri, seules les données de Saint-Bernard et Saint-Elzéar (Boutin, 2012), qui couvrent les deux tiers de la superficie du bassin versant, étaient disponibles.

Les données de densité de résidences isolées et de conformité des installations septiques étant disponibles uniquement à l'échelle municipale, les valeurs pour le bassin versant ont été calculées au prorata du nombre de résidences isolées de la municipalité dans le bassin, sauf pour les ruisseaux Vacher et Saint-Pierre, où le calcul s'est fait au prorata de la superficie municipale dans le bassin.

Annexe 3 Fréquence d'échantillonnage par projet

Cours d'eau	Projet ^a	No BQMA ^b	Fréquence selon la période	
			Tous les 14 jours	Mensuelle
Petite rivière Neigette	224	02190010	2006-2008	---
Levasseur	255, PCA	02200022	2007-2009	---
Fouquette	210	02E90002	1997-2000	2001-2013
Boyer	224	02300001	1990-2003	2003-2013
Boyer Sud	224	02300002	1990-2008	2009-2013
Boyer Nord	224	02300003	1990-2006	2006-2013
Du Portage	224	02300004	1993-2008	2009
Honfleur	224	02300005	1991-2003	2003-2006
Grillade	223	02300013	1997-2000	---
Saint-Patrice	224	02330029	2002-2003	2003-2006
Du Moulin Bernier	247	02330048	---	2006-2009
Le Bras	255, PCA	02330050	2007-2009	---
Des Îles Brûlées	224	02340086	1997-2003	2003-2009
Turmel	225	02340091	1998-2002	---
Binet	225	02340092	1998-2003	---
Belair	225	02340093	1998-2002	---
Morency	224, 225	02340098	1999-2003	2003-2005
Bras d'Henri	224	02340099	1999-2008	2009-2013
Laflamme	247	02340119	---	2006-2009
Bourret	247	02350002	---	2006-2009
Bourbon	224	02400048	2006-2009	2009-2013
Des Moulanges	247	02500001	---	2006-2009
Saint-Zéphirin	224	03010046	---	2009-2013
Saint-Zéphirin amont	224	03010086	2006-2009	---
Brook	255, PCA	03020065	2007-2009	---
Veillette	224	03020388	2006-2009	---
Bradley	224	03020389	2006-2009	---
Runnels	224	03030008	1997-2006	2007-2013
À la Barbue	255, PCA	03030110	2007-2009	---
Du Sud-Ouest	224	03030237	1995-2006	2006-2008
Des Aulnages	227	03030253	2001-2009	2010
Walbridge	210	03040066	---	1998-2013
Ewing	210	03040073	---	2001-2013
À l'Ours	224	03040195	2006-2009	---
De l'Esturgeon	255, PCA	03090018	2007-2009	---
Rousse	255, PCA	04310084	2007-2009	---
Le Grand Bras amont	316	05050096	2004-2008	---
Le Grand Bras	316	05050097	2004-2008	---
Le Petit Bras	316	05050098	2004-2008	---
Du Moulin	316	05050099	2004-2008	---
La Chevrotière	316, 255, PCA	05050100	2004-2009	---
Aux Pommes	224	05080053	2002-2006	---
Du Point du Jour	224, 210, 232	05220063	1997-2006	2009-2013
Vacher	224	05220239	1997-2009	2009-2013
Saint-Pierre	224, 066	05220240	1997-2008	2011-2013
Saint-Esprit	224	05220241	1997-2006	2006-2008
Desrochers	224	05220249	1999-2003	2003-2005
Bibeau	255, PCA	05240014	2007-2009	---
Chacoura	255, PCA	05280053	2007-2009	---
Rouge	255, PCA	06200004	2007-2009	---
Dauphine	224	12020001	---	2006-2008

a : Projet : 066 = Atténuation des menaces agricoles (CARA, L'Assomption); 210 = Réseau rivières; 223 = Boyer Nord; 224 = Suivi des tributaires agricoles; 225 = CARB (rivière Belair); 227 = Des Aulnages (région 16 – Montérégie); 232 = Support OBV (CARA); 247 = Initiative nationale d'élaboration de normes agroenvironnementales (INENA); 255 = Plan d'action concerté sur l'agroenvironnement et la cohabitation harmonieuse (PAC); 316 = Projet rivière La Chevrotière; PCA = Projets collectifs agricoles;

b : Numéro de station, Banque de données sur la qualité du milieu aquatique.

Annexe 4 Données relatives au dépassement des seuils de coliformes fécaux

BQMA	Cours d'eau	Période	Données par saison ^a		Moyenne CF _{12 mois} ^b (UFC/100 ml)	CF > 10 000 ^d	
			Été	Hiver		Été	Hiver
02190010	Petite rivière Neigette	2006-2007	26	17	37	0	0
02200022	Levasseur	2007-2009	28	24	1 311	0*	0
02E90002	Fouquette	2009-2013	30	15	> 440	0	0
02300001	Boyer	2009-2013	30	23	726	1	0
02300002	Boyer Sud	2009-2013	50	23	657	0	0
02300003	Boyer Nord	2009-2013	29	26	2 522	1	1
02300004	Du Portage	2006-2009	41	25	> 1 840 ^c	6	0
02300005	Honfleur	2003-2005	15	18	> 1 650	0	0
02300013	Grillade	1999-2000	36	19	> 939	0	0
02330029	Saint-Patrice	2003-2005	20	24	1 301	0	0
02330048	Du Moulin Bernier	2006-2009	18	15	259	0	0
02330050	Le Bras	2007-2008	17	19	221	1	0
02340086	Des Îles Brûlées	2006-2009	19	22	3 827	1	0
02340091	Turmel	1999-2001	56	27	1 523	0	0
02340092	Binet	1999-2001	55	29	341	0	0
02340093	Belair	1999-2001	52	27	152	0	0
02340098	Morency	2003-2005	16	12	> 112	0	0
02340099	Bras d'Henri	2009-2013	29	22	> 5 671	9	0
02340119	Laflamme	2006-2009	18	11	> 845	0	0
02350002	Bourret	2006-2009	18	17	272	0	0
02400048	Bourbon	2009-2013	28	27	845	2	0
02500001	Des Moulanges	2006-2009	18	16	397	0	0
03010046	Saint-Zéphirin	2010-2013	25	24	2 695	1	0
03010086	Saint-Zéphirin amont	2006-2009	33	21	> 1 830	2	0
03020065	Brook	2008-2009	27	21	> 5 065	1	0
03020388	Veillette	2006-2009	42	26	1 306	1	0
03020389	Bradley	2006-2008	36	26	> 1 601	2	0
03030008	Runnels	2009-2013	30	25	> 2 198	2	0
03030110	À la Barbue	2007-2009	28	22	1 720	2	0
03030237	Du Sud-Ouest	2006-2008	13	18	2 360	1	0
03030253	Des Aulnages	2006-2009	48	28	> 1 575	0 ou 1 ^e	0
03040066	Walbridge	2009-2013	29	23	> 1 138	0 ou 1 ^e	0
03040073	Ewing	2009-2013	29	23	1 420	0 ou 1 ^e	0
03040195	À l'Ours	2006-2009	38	23	3 686	2	0
03090018	De l'Esturgeon	2007-2009	32	20	1 526	2	0
04310084	Rousse	2008-2009	28	23	738	0	0
05050096	Le Grand Bras amont	2006-2008	35	0	> 53	0	0
05050097	Le Grand Bras	2006-2008	36	3	> 757	0*	0
05050098	Le Petit Bras	2006-2008	40	5	> 7 583	4	0
05050099	Du Moulin	2006-2008	32	4	> 3 021	2	0
05050100	La Chevrotière	2006-2009	56	24	> 1 462	2	0
05080053	Aux Pommes	2003-2005	30	20	505	0	0
05220063	Du Point du Jour	2009-2013	28	26	> 534	0	0
05220239	Vacher	2009-2013	28	30	> 2 702	2	0
05220240	Saint-Pierre	2006-2008	30	19	> 2 676	2	0 ou 1 ^e
05220241	Saint-Esprit	2006-2008	13	15	285	0	0
05220249	Desrochers	2003-2005	13	15	> 683	0	0
05240014	Bibeau	2007-2009	29	21	1 918	0*	0*
05280053	Chacoura	2007-2009	30	20	1 197	0*	0
06200004	Rouge	2007-2009	30	23	438	2	0
12020001	Dauphine	2006-2008	18	18	2 286	2	0

a : Nombre de données pour calculer le pourcentage de dépassement des seuils de CF;

b : Moyenne mobile des CF sur 12 mois consécutifs (maximum de la période);

c : Période débutant en décembre 2006;

d : Nombre de valeurs de CF supérieures à 10 000 UFC/100 ml de 2006 à 2013;

e : Valeur « > 6 000 »; * : Station avec CF > 6 000 à 10 000.

Annexe 5 Rapports entre les *E. coli* et les coliformes fécaux dans les petits cours d'eau en milieu agricole

Tableau A5 Rapports entre les médianes (M) des *E. coli* (EC) et des coliformes fécaux (CF) mesurés dans les petits cours d'eau agricoles au cours de la période de 2004 à 2009

Station BQMA ^a	Cours d'eau	Estival (E)						Hivernal (H)						P(E=H) ^b
		Médiane		M _{EC} /M _{CF}	M (EC/CF)	N	Période	Médiane		M _{EC} /M _{CF}	M (EC/CF)	N	Période	
		EC	CF					EC	CF					
Projet tributaires agricoles (224)														
02300003	Boyer Nord	220	330	0,67	0,67	43	mai 04-sept 08	355	520	0,68	0,80	20	avr 04-mars 09	0,19
02300004	Du Portage	545	800	0,68	0,82	57	mai 04-oct 08	60	95	0,63	0,61	38	fév 04-mars 09	0,11
02300005	Honfleur	250	200	1,25	0,78	9	juil 04-oct 05	28	27	1,04	1,00	11	mars 04-mars 06	0,57
02330029	Saint-Patrice	1 286	1 400	0,92	0,94	12	mai 04-oct 05	160	310	0,52	0,85	15	avr 04-mars 06	0,31
02340086	Des Îles Brûlées	440	460	0,96	0,80	27	mai 04-sept 08	340	440	0,77	0,67	32	fév 04-mars 09	0,27
02340098	Morency	70	114	0,61	0,94	7	oct 04-oct 05	27	70	0,39	1,04	4	fév 04-déc 05	0,52
02340099	Bras d'Henri	910	1 000	0,91	0,74	27	juin 04-oct 06	70	120	0,58	0,65	9	déc 04-mars 07	0,27
03030008	Runnels	380	455	0,84	0,83	35	mai 04-oct 06	100	110	0,91	0,70	7	déc 04-déc 06	0,21
03030237	Du Sud-Ouest	1 000	909	1,10	0,89	31	mai 04-oct 06	360	530	0,68	0,69	19	fév 04-mars 07	0,101
05080053	Aux Pommes	164	210	0,78	0,86	17	mai 04-sept 05	72	72	1,00	0,75	13	fév 04-mars 06	0,87
05220063	Du Point du Jour	820	960	0,85	0,81	20	mai 04-oct 05	210	350	0,60	0,67	13	fév 04-mars 06	0,47
05220239	Vacher	290	400	0,73	0,67	29	mai 04-oct 06	220	320	0,69	0,63	17	fév 04-mars 07	0,20
05220240	Saint-Pierre	1 520	1 700	0,89	0,86	36	mai 04-oct 06	900	1 150	0,78	0,81	16	fév 04-mars 07	0,88
05220241	Saint-Esprit	240	250	0,96	0,89	29	mai 04-oct 06	45	60	0,75	0,67	19	fév 04-mars 07	0,065
05220249	Desrochers	162	158	1,03	1,00	8	mai 04-juil 05	50	95	0,52	0,48	4	avr 04-déc 05	0,011
Projet tributaires agricoles - rotation 2006 (224)														
02190010	Petite rivière Neigette	5	7	0,71	1,00	12	mai-oct 06	5	5	1,00	1,00	9		0,47
02400048	Bourbon	490	755	0,65	0,58	12	juin-oct 06	40	140	0,29	0,51	5		0,25
03010086	Saint-Zéphirin amont	915	1 350	0,68	0,73	12	mai-oct 06	220	250	0,88	0,56	3	jan 06-mars 07	0,22
03020388	Veillette	115	200	0,58	0,65	12	mai-oct 06	20	65	0,30	0,63	4		0,59
03020389	Bradley	255	310	0,82	0,68	12	mai-oct 06	40	45	0,89	0,84	4		0,67
03040195	À l'Ours	800	1 200	0,67	0,59	13	mai-oct 06	550	1 200	0,46	0,59	5		0,84
12020001	Dauphine	430	600	0,72	0,77	7	mai 06-mars 07	50	50	1,00	1,00	9		1,00
Projet INENA (247)														
02330048	Du Moulin Bernier	75	165	0,45	0,46	18		15	15	1,00	0,56	16	nov 06-avr 09	0,23
02340119	Lafamme	570	495	1,15	0,67	18	juil 06-juin 09	140	230	0,61	0,53	11	nov 06-avr 09	0,84
02350002	Bourret	70	135	0,52	0,43	18		25	55	0,45	0,46	16	oct 06-juin 09	0,90
02500001	Des Moulanges	85	120	0,71	0,66	18		50	60	0,83	0,91	16	nov 06-avril 09	0,021
Projet PAC (255)														
02200022	Levasseur	95	105	0,90	0,73	14		50	150	0,33	0,67	15	fév 08-fév 09	0,48
02330050	Le Bras	100	150	0,67	0,48	16		70	150	0,47	0,64	14	fév 08-fév 09	0,45
03020065	Brook	40	50	0,80	0,46	15		20	50	0,40	0,56	13	fév 08-fév 09	0,46
03030110	À la Barbue	515	860	0,60	0,65	14		570	730	0,78	0,64	13	fév 08-fév 09	0,92
03090018	De l'Esturgeon	90	275	0,33	0,52	16	mai-oct 08	370	530	0,70	0,54	15	jan 08-jan 09	0,97
04310084	Rousse	180	290	0,62	0,62	15		105	120	0,88	0,64	14	fév 08-fév 09	0,91
05050100	La Chevrotière	520	570	0,91	0,72	17		210	220	0,95	0,71	9	mars 08-fév 09	1,00
05240014	Bibeu	730	730	1,00	0,81	15		240	425	0,56	0,78	12	fév 08-déc 08	0,41
05280053	Chacoura	290	480	0,60	0,75	16		170	250	0,68	0,63	13	fév 08-fév 09	0,78
06200004	Rouge	95	215	0,44	0,55	16		100	180	0,56	0,57	13	fév 08-fév 09	0,43

a : Numéro de station, Banque de données sur la qualité du milieu aquatique;

b : Test de Mann-Whitney calculé avec le logiciel SigmaStat (absence de différence significative entre les rapports EC/CF en été et en hiver au seuil de 5 % lorsque $p > 0,05$);

N = Nombre de paires de valeurs d'*E. coli* et de coliformes fécaux par station.

**Régression forcée à l'origine
(données non censurées de 2004 à 2009)**

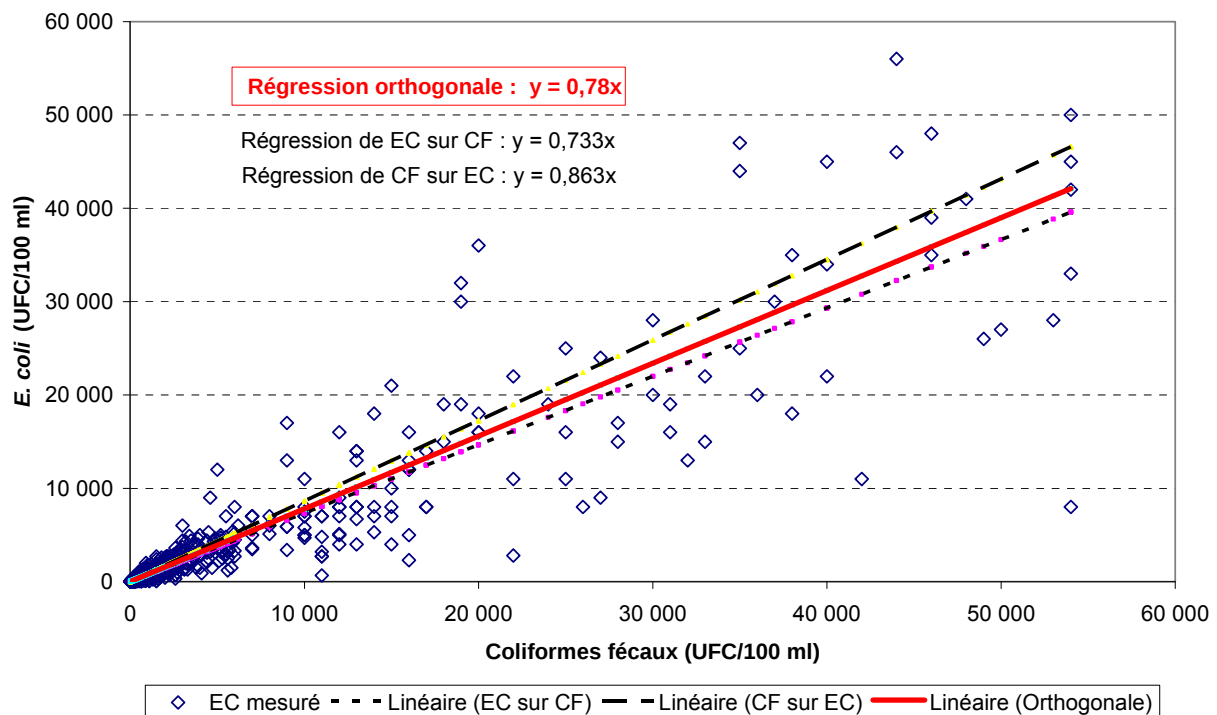


Figure A5 Relation entre les *E. coli* (EC) et les coliformes fécaux (CF) dans les cours d'eau en milieu agricole au Québec

Annexe 6 Suivi bactériologique au ruisseau du Portage à l'été 2003 et 2004

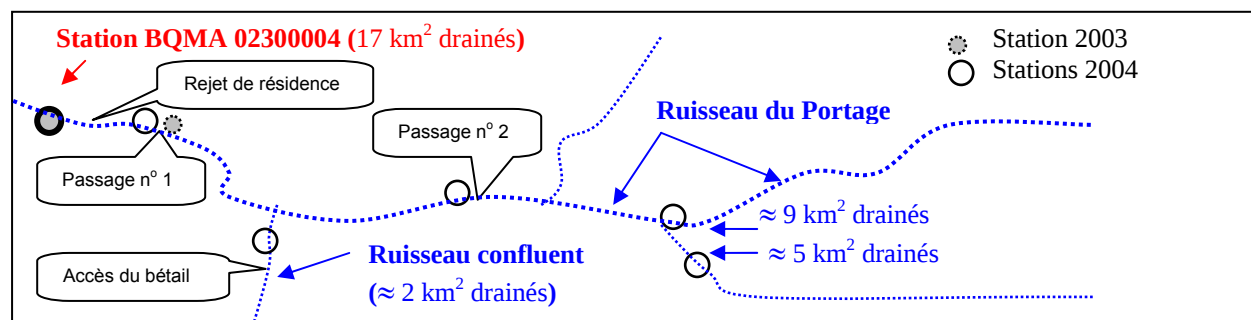
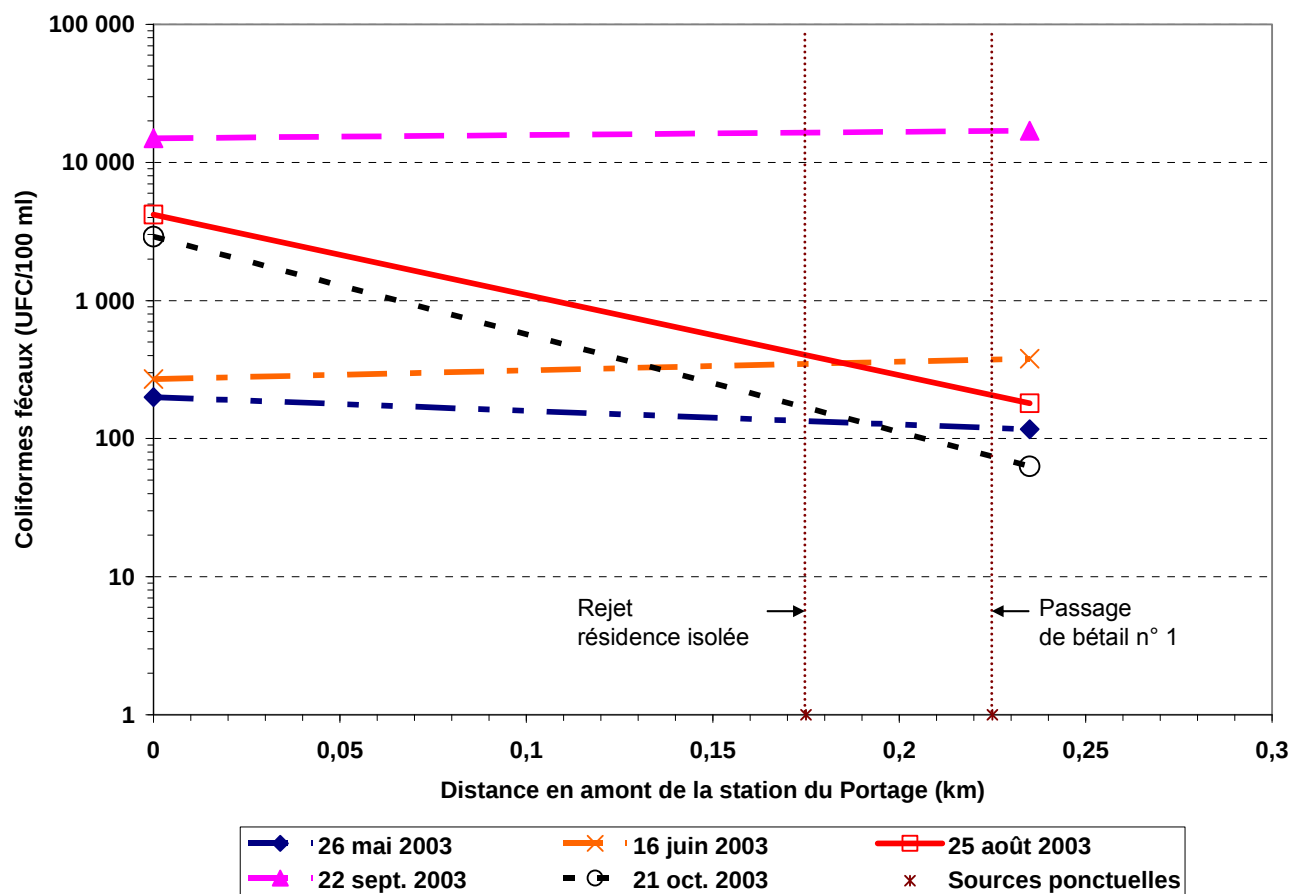


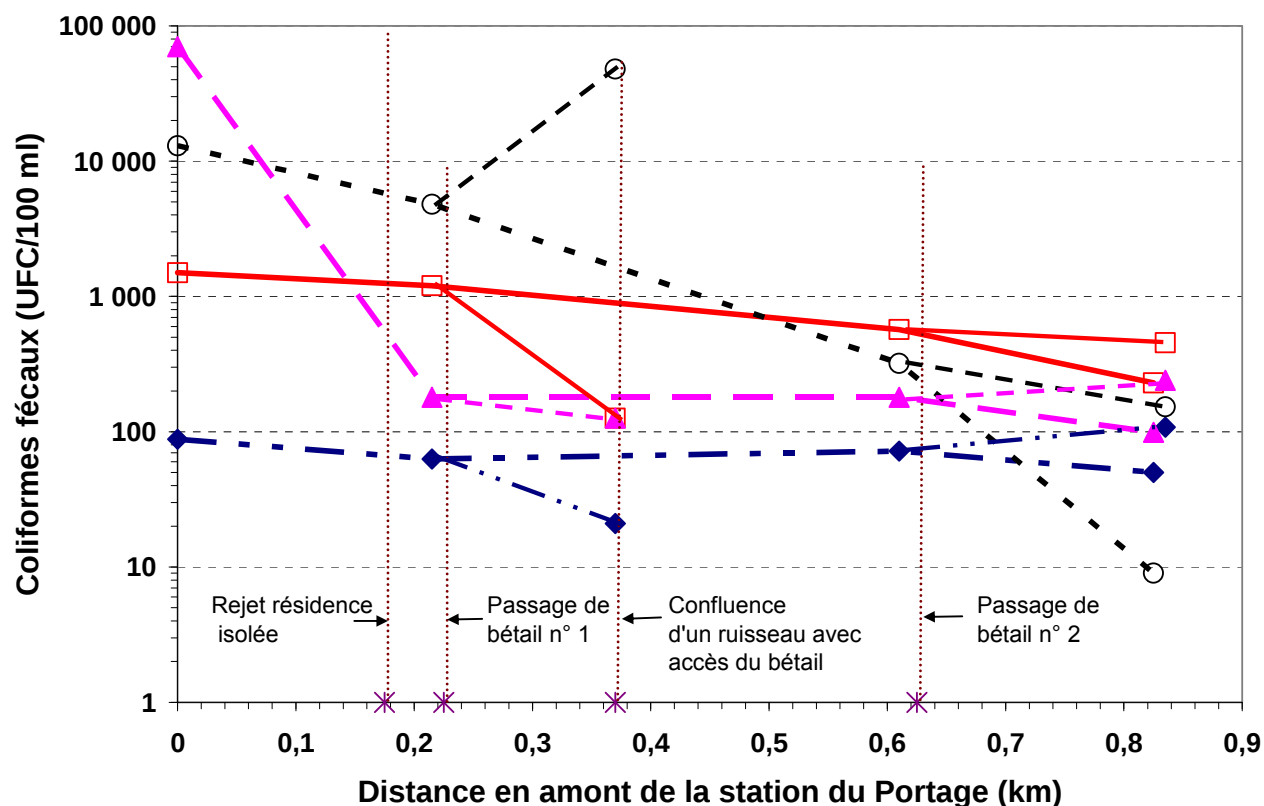
Schéma A4a Position des stations d'échantillonnage et des sources de contamination



Date	Débit (l/s)	Coliformes fécaux (UFC/100 ml)		Source majeure des CF mesurés à la station 02300004
		Station 02300004	Station amont rapproché ^a	
26 mai 2003	289	200	117	--
16 juin 2003	388	270	380	Autre source plus en amont.
25 août 2003	93	4 200	180	Rejet de résidence ou passage n° 1.
22 septembre 2003	12	15 000	17 000	Autre source plus en amont.
21 octobre 2003	61	2 900	63	Rejet de résidence ou passage n° 1.

a : Station située en amont immédiat de rejets d'une résidence isolée et du passage n° 1.

Figure A6a Contamination bactériologique à la station du ruisseau du Portage (02300004) et en amont de rejets d'une résidence isolée et d'un passage d'animaux à l'été 2003.



◆ 3 mai 2004 ■ 17 août 2004 ▲ 14 sept. 2004 ○ 12 oct. 2004 * Sources ponctuelles

Date	Lieu	Bactéries dans les sédiments <i>E. coli</i> (NPP/g. sec)	Bactéries dans l'eau (UFC/100 ml)	
			Coliformes fécaux	<i>E. coli</i>
3 mai 2004	Passage de bétail n° 1	18	63	54
	Passage de bétail n° 2	3	72	72
	Ruisseau confluent	5	21	16
17 août 2004	Passage de bétail n° 1	210 000	1 200	727
	Passage de bétail n° 2	17 000	570	570
14 septembre 2004	Passage de bétail n° 1	1 400 000	180	126
	Passage de bétail n° 2	3 900	180	180
12 octobre 2004	Passage de bétail n° 1	67 000	4 800	--
	Passage de bétail n° 2	180 000	320	--

Relations

$$\ln(CF_{\text{eau}}) = 3,56 + 0,24 \cdot \ln(E. coli_{\text{sédiments}}); \quad R^2 = 0,52; \quad p = 0,028; \quad n = 9$$

$$\ln(E. coli_{\text{eau}}) = 3,51 + 0,29 \cdot \ln(E. coli_{\text{sédiments}}); \quad R^2 = 0,55; \quad p = 0,055; \quad n = 7$$

Date	Débit (l/s)	Observations terrain	Source des CF ^a mesurés à la station 02300004
3 mai 2004	590	Bouses au ruisseau confluent.	--
17 août 2004	222	Bouses aux passages n° 1 et n° 2.	Passage de bétail n° 1; passage de bétail n° 2, rejet de résidence isolée et autres sources à plus de 0,8 km en amont de la station 02300004.
		Bovins avec accès au ruisseau confluent.	
14 septembre 2004	58	--	Rejet de résidence isolée.
12 octobre 2004	40	Bouses aux passages n° 1 et n° 2.	Rejet de résidence isolée et accès du bétail au ruisseau confluent; passage de bétail n° 2.
		Bovins avec accès au ruisseau confluent.	

a : Les sources de coliformes fécaux mises en évidence à l'aide du suivi de la qualité de l'eau aux stations en amont sont indiquées selon un ordre décroissant d'importance établi à l'aide de la différence, entre les stations d'échantillonnage, des concentrations de CF pondérées en fonction des superficies drainées à chaque station.

Figure A6b Contamination bactériologique à la station du ruisseau du Portage (02300004) et à divers points en amont à l'été 2004.

Annexe 7 Contamination bactériologique d'un couvert de glace enlevé d'un réservoir à lisier

CAS^a	Numéro de l'échantillon	Coliformes fécaux (UFC/100 ml)
TÉMOIN (neige non contaminée en amont du couvert de glace)	1	0
	2	0
	3	0
GLACE CONTAMINÉE – CAS MOYEN	1	80 000
	2	3 700
	3	75 000
GLACE CONTAMINÉE – PIRE CAS	1	4 500 000
	2	11 000 000
	3	3 000 000
NEIGE CONTAMINÉE (en aval du tas de glace)	1	4 200 000
	2	2 100 000
	3	510 000

a : Couvert de glace enlevé d'un réservoir à lisier d'une porcherie-maternité à Saint-Narcisse le 23 février 1989 et échantillonné le 30 mars 1989. La hauteur du couvert de glace était d'environ 1,5 m. Le réservoir à lisier avait un diamètre de 13,4 m et une profondeur de 3,66 m. Le lisier contenait peu de litière et était évacué à l'aide d'une chaîne à écurer. Le couvert de glace avait été enlevé à l'aide d'une pelle mécanique et les blocs de glace, entassés sur le sol gelé à proximité du réservoir. L'échantillonnage a été réalisé à la suite de plusieurs plaintes à la direction régionale au cours de l'hiver 1988-1989, afin d'obtenir des données sur le potentiel contaminant des couverts de glace. Un survol en hélicoptère effectué en mars 1989 pour une partie du bassin versant de la rivière Beaurivage avait permis d'observer environ 30 couverts de glace enlevés des réservoirs.

Source : Note de Michel Patoine à Michel Vallières le 18 février 1991, Direction régionale de la Chaudière et des Appalaches, Ministère de l'Environnement, Gouvernement du Québec.

Annexe 8 Références bibliographiques des annexes

ASAE (American Society of Agricultural Engineers) (1998). "Manure production and characteristics", dans *ASAE Standards 1998*, Michigan [É.-U.], p. 646-648. [ASAE D384.1 DEC93].

DESSAU-SOPRIN INC. et SOLINOV INC., 2003. *MRC de Montcalm et l'Épiphanie, ville et paroisse, plan de gestion des matières résiduelles*, 11 novembre 2003. Disponible à http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/client/fr/gerer/municipalites/Plans_vigueur.asp (consulté le 13 août 2013).

DROUIN, Marc (4 juin 2012). (m.drouintravauxpublics@sainte-brigide.qc.ca), *Demande d'informations – conformité des installations septiques*, [Courriel à Michel Patoine], (michel.patoine@mddep.gouv.qc.ca).

GELDREICH, E. E. (1978). "Bacterial populations and indicators concepts in feces, sewage, stormwater and solid wastes", dans BERG, Gerald, éd. *Indicators of viruses in water and food*, Michigan, Ann Arbor, Ann Arbor Science, p. 51-97.

MRC DE BELLECHASSE (2009). « Communication personnelle de P. Blais », dans OBV Côte-du-Sud/GIRB (2011). *Plan directeur de l'eau du bassin de la rivière Boyer*, tableau 39. Disponible à http://www.obvcotedusud.org/portrait.html#pde_obv (consulté le 20 juin 2012).

CÔTÉ, Sylvie (16 mai 2012). (scote@mrcbellechasse.qc.ca), *Demande d'informations – conformité des installations septiques*, [Courriel à Michel Patoine], (michel.patoine@mddep.gouv.qc.ca).

BOUTIN, Denis (14 juin 2012). (denisboutin@nouvellebeauce.com), *Données fosses septiques*, [Courriel à Michel Patoine], (michel.patoine@mddep.gouv.qc.ca).

PATOINE, M. (2011). « Influence de la densité animale sur la concentration de coliformes fécaux dans les cours d'eau du Québec méridional, Canada », *Revue des sciences de l'eau*, vol. 24, n° 4, p. 421-435, [<http://www.erudit.org/revue/rseau/2011/v24/n4/1007628ar.html?vue=resume>].

STATISTIQUE CANADA (2006). *Recensement de l'agriculture de 2006*. Disponible à <http://www.statcan.gc.ca/pub/95-629-x/2007000/4123856-fra.htm> (consulté le 3 janvier 2013).

STATISTIQUE CANADA (2002). *Recensement de l'agriculture de 2001*, données sur les exploitations agricoles, diffusion complète, CD-ROM n° 95F0304XCB.

STATISTIQUE CANADA (1997). *Recensement de l'agriculture de 1996*.

STATISTIQUE CANADA (1992). *Recensement de l'agriculture de 1991*.

WHPA (Wittman Hydro Planning Associates, inc.) (2004). *Salt Creek E. coli TMDL*, Bloomington [Ind.], 184 p., [<http://www.epa.gov/waters/tmdl/docs/salt%20creek%20e%20coli%20final%20tmdl%20report.pdf>].

