



PCAA

Programme canadien d'adaptation agricole

Rapport final

Étude de faisabilité technico-économique de l'utilisation de l'eau du fleuve pour l'irrigation des cultures horticoles de l'Île d'Orléans

Projet # 6690

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

Février 2012 à janvier 2014

Rédigé par
Mylène Généreux
Caroline Côté
Jonathan Leblanc
Luc Belzile

31 janvier 2014

Équipe de réalisation

Luc Belzile , économiste, agr., M.Sc.	Chercheur, IRDA
Daniel Bergeron , agr., M.Sc.	Conseiller en production maraîchère, MAPAQ
Hubert Cabana , ing., Ph.D.	Professeur agrégé, Université de Sherbrooke
Caroline Côté , agr., Ph.D.	Responsable scientifique du projet, chercheuse, IRDA
Yves de Lafontaine , Ph.D.	Chef – section biodiversité aquatique, Environnement Canada
Mylène Généreux , M.Sc.	Professionnelle de recherche, IRDA
Gabriel Gosselin	Producteur agricole, Ferme François Gosselin
Robert Lagacé , ing., agr., Ph.D.	Professeur titulaire, Université Laval
Jonathan Leblanc , ing. jr	Candidat à la maîtrise, Université Laval
Jocelyn Marceau , ing., M.Sc.	Conseiller en développement technologique, MAPAQ

Collaborateurs

François Blouin	Président - Syndicat de l'UPA de l'Île d'Orléans
Patrick Dubé , chimiste, Ph.D.	Responsable du laboratoire d'analyses agroenvironnementales, IRDA
Josée Fortin , Ph.D.	Professeur titulaire, Université Laval
Michèle Grenier , M.Sc.	Biostatisticienne, IRDA
Serge Hébert , M.Sc.	Coordonnateur - Suivi de la qualité de l'eau de surface, MDDEFP
Antoine Karam , Ph.D.	Directeur du département des sols et génie agroalimentaire, Université Laval
Jean Noreau , chimiste, Ph.D.	Conseiller, MAPAQ
Myriam Rondeau , M.Sc.	Spécialiste en qualité de l'eau, Environnement Canada
Patrice Thibault , agr.	Conseiller - Réseau de lutte intégrée Orléans

Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) s'est engagé à travailler avec des partenaires de l'industrie. Les opinions exprimées dans le présent document sont celles du demandeur et ne sont pas nécessairement partagées par AAC et le CDAQ.

Table des matières

Équipe de réalisation	2
Collaborateurs.....	2
Liste des tableaux.....	4
Liste des figures	4
1. DESCRIPTION DU PROJET	5
1.2 Objectifs	6
1.3 Installations de pompage et échantillonnages	6
1.4 Paramètres mesurés et méthodes d'analyse.....	10
2. RÉSULTATS	12
2.1. Caractérisation de l'eau au point de pompage.....	12
2.2. Essai d'aération en étangs	16
2.3. Essais de filtration lente sur sable en laboratoire.....	18
2.4. Analyse économique.....	20
2.4.1. Mise en contexte et approche méthodologique	20
2.4.2. Résultats et analyse	21
2.5. Diffusion des résultats	24
3. CONCLUSIONS	26
4. SOMMAIRE DES ACCOMPLISSEMENTS DU PROJET.....	26
5. PLAN DE FINANCEMENT ET CONCILIATION DES DÉPENSES	27

Annexe 1 : Schéma d'élévation des installations de pompage du fleuve vers les étangs d'irrigation

Annexe 2. Fiche descriptive de la pompe installée au fleuve.

Annexe 3. Critères de qualité de l'eau de surface – protection de la vie aquatique (effet chronique) du MDDEFP et recommandations du CCME pour la qualité de l'eau en vue de protéger les utilisations de l'eau à des fins agricoles.

Annexe 4. Documents de diffusion des résultats.

Liste des tableaux

Tableau 1. Calendrier d'échantillonnage 2012.....	9
Tableau 2. Calendrier d'échantillonnage 2013.....	9
Tableau 3. Paramètres physico-chimiques mesurés dans l'eau du fleuve et limites de détection.	10
Tableau 4. Pesticides mesurés dans l'eau du fleuve et les étangs et limites de détection.....	11
Tableau 5. Statistiques descriptives des caractéristiques physico-chimiques de l'eau au point de pompage pour les deux ans d'étude.	14
Tableau 6. Statistiques descriptives des concentrations en pesticides de l'eau au point de pompage pour les deux ans d'étude.	15
Tableau 7. Impact de l'aération en étang sur les propriétés physico-chimiques de l'eau et son contenu en pesticides, <i>E. coli</i> et larves de moules zébrées.	16
Tableau 8. Investissement en équipements, infrastructures et services d'un système de pompage de l'eau du fleuve.....	21
Tableau 9. Coûts annuels du pompage et de la filtration de l'eau du fleuve.....	22

Liste des figures

Figure 1. Système de pompage installé dans le fleuve.....	7
Figure 2. Échantillonneur d'eau horizontal d'une capacité d'un litre.	8
Figure 3. Étang aéré.	8
Figure 4. Étang témoin non aéré.	8
Figure 5. Densités totales de larves de moules zébrées dénombrées au point de pompage en 2012 et 2013.	15
Figure 6. Populations d' <i>E. coli</i> dénombrées au point de pompage en 2012 et 2013.....	16
Figure 7. Moules zébrées (stade juvénile) présentes dans l'étang aéré en août 2013.	18
Figure 8. Dispositif expérimental de filtration lente sur sable à l'Université de Sherbrooke.	19
Figure 9. Dispositif expérimental de filtration lente sur sable au Laboratoire d'hygiène de l'environnement agricole de l'IRDA.	19
Figure 10. Caractéristiques des cylindres utilisés pour la filtration lente sur sable et gravier.....	20

1. DESCRIPTION DU PROJET

1.1 Mise en contexte

L'approvisionnement en eau est un enjeu problématique à l'échelle globale de l'Île d'Orléans, à la fois pour le secteur municipal et le secteur agricole. Actuellement, les 7 000 résidents permanents de l'Île dépendent des eaux souterraines pour leur approvisionnement en eau potable (BPR, 2008)¹. Le faible potentiel offert par les aquifères locaux a également des impacts importants sur le secteur agricole. L'étude portant sur les questions d'approvisionnement en eau pour le secteur de l'agriculture au Québec (BPR, 2003)² concluait que la problématique de l'approvisionnement en eau à des fins d'irrigation à l'Île d'Orléans constituait l'un des enjeux les plus significatifs à l'échelle provinciale. Cette étude rapportait également que près de 88% des superficies irriguées dans la région de la Capitale-Nationale étaient situées sur l'Île, ce qui touchait à l'époque près de 825 hectares et une cinquantaine de producteurs agricoles. Par la suite, l'étude technico-économique des mêmes auteurs en 2008, visant l'approvisionnement en eau des cultures horticoles à l'Île d'Orléans, a conduit à plusieurs recommandations, dont celles de poursuivre la caractérisation des eaux du fleuve afin de préciser sa qualité et de valider les besoins en traitement de l'eau.

Selon les données de Statistique Canada, les superficies moyennes irriguées à l'Île d'Orléans ont augmenté de 41 % entre 2000 et 2005. À titre indicatif, les superficies irriguées en 2005 représentaient environ 42 % des superficies des cultures horticoles sur le territoire de l'Île. Les producteurs de petits fruits et de légumes autres que la pomme de terre sont actuellement les principaux utilisateurs d'eau.

L'approvisionnement actuel en eau pour l'irrigation est essentiellement fait à partir des quelques 600 étangs existants sur l'ensemble de l'Île. Les étangs sont souvent localisés dans les dépressions du paysage et ils sont alimentés par les eaux de ruissellement, les eaux souterraines ou par les eaux de surface des petits cours d'eau intérieurs. De plus, les boisés de l'Île étant presque tous en affectation de conservation, il est désormais interdit d'y creuser des étangs selon le schéma d'aménagement de la MRC.

Si la stratégie actuelle d'approvisionnement en étangs peut s'avérer adéquate pour certaines entreprises, les producteurs et les intervenants techniques régionaux s'interrogent sur la viabilité à long terme de cette orientation, compte tenu de certains facteurs limitatifs :

- le potentiel d'utilisation de l'irrigation demeure sous-exploité à cause des contraintes d'approvisionnement. Les besoins réels sont donc supérieurs à ce qui est actuellement observé en pratique;
- les acheteurs de produits maraîchers sont de plus en plus exigeants quant aux garanties d'approvisionnement et exercent des pressions de plus en plus grandes sur les entreprises pour qu'elles aient recours à l'irrigation;
- le creusage d'étangs retire de plus en plus d'espaces agricoles qui ne peuvent être utilisés à des fins de production. La faible épaisseur des dépôts meubles et la dureté de la roche-mère

¹ BPR Infrastructure Inc., 2008. *Étude technico-économique de solutions techniques visant l'approvisionnement en eau des cultures horticoles à l'Île d'Orléans*. Rapport de projet, 78 pages.

² BPR Infrastructure Inc., 2003. *Analyse de questions d'approvisionnement en eau pour le secteur de l'agriculture*. Rapport final, 64 pages.

limitent le potentiel de recrusage des étangs existants et le développement de nouveaux étangs;

- les changements climatiques risquent d'accentuer les variations des conditions météorologiques et d'augmenter les besoins en irrigation;
- l'augmentation des besoins en eau posera rapidement la problématique de l'équité dans l'accès et la distribution des ressources hydriques disponibles.

La proposition mise en application dans ce projet, soit le pompage de l'eau du fleuve vers un étang aéré, garantirait un approvisionnement fiable quant aux volumes d'eau disponibles en plus d'améliorer la qualité microbiologique de l'eau pour l'irrigation.

1.2 Objectifs

L'objectif général du projet était d'évaluer la faisabilité technico-économique de l'utilisation de l'eau du fleuve St-Laurent pour l'irrigation des cultures horticoles de l'île d'Orléans.

Les objectifs spécifiques étaient de :

1. Évaluer la qualité de l'eau du fleuve quant aux normes d'utilisation pour l'irrigation des cultures;
2. Déterminer une technique de pompage à privilégier en considérant qu'il s'agit d'un cours d'eau navigable avec d'importantes marées;
3. Évaluer la possibilité de traiter, par aération en étang, l'eau du fleuve avant son utilisation au champ;
4. Évaluer la rentabilité de la technique de pompage au fleuve en la comparant à d'autres sources d'approvisionnement comme le creusage d'étangs.

1.3 Installations de pompage et échantillonnages

Les travaux ont eu lieu sur le lot 229 de la municipalité de Saint-Laurent-de-l'île-d'Orléans. L'extrémité de l'ouvrage de prise d'eau était à une profondeur d'un mètre sous le niveau d'eau le plus bas (la marée la plus basse). L'ouvrage était situé à 64 mètres de la ligne de marée haute. Une pompe submersible alimentée par un moteur électrique de 15 HP de type "sandfighter" a été utilisée (figure 1). La pompe opérait à une pression de 200 PSI et fournissait un débit de 300 litres par minute (LPM). La fiche descriptive de la pompe utilisée est présentée en annexe. La première section de la prise d'eau était un tuyau flexible de classe 200 PSI reposant sur le lit des eaux navigables du fleuve Saint-Laurent; son diamètre était de 10 cm et sa longueur de 65 mètres. Ensuite, une deuxième section d'environ 460 mètres de tuyaux PEHD DR11 de 10 cm de diamètre a été enfouie à 1 mètre de profondeur. Une troisième section d'environ 1 220 mètres de tuyaux PEHD DR17 de 10 cm de diamètre enfouie à 1 mètre de profondeur était utilisée pour compléter la canalisation jusqu'aux étangs. Juste avant la montée, une valve papillon à levier a été installée sur la ligne principale afin de pouvoir contrôler le débit de la pompe. Une sortie munie d'une valve papillon à levier a été prévue pour pouvoir faire la vidange des tuyaux à la fin de la saison. Le tuyau flexible ainsi que la pompe étaient remisés pour l'hiver. Le schéma des installations de pompage du fleuve vers les étangs d'irrigation est présenté en annexe.

La prise d'eau était munie de deux crépines offrant une surface de vide de 0,25 m², ce qui excédait le minimum requis de 0,17 m² selon les *Directives concernant les grillages à poissons installés à l'entrée des prises d'eau douce* (Pêches et Océans Canada, MPO/5080) pour un débit de 380 LPM. La base des crépines était à au moins 30 cm du fond du cours d'eau.

Les ouvrages ne comprenaient aucun encoffrement ou aucune autre infrastructure s'élevant à plus de 50 cm au-dessus du lit des eaux navigables. Les travaux n'étaient pas associés à un barrage, un déversoir, un bassin d'amont ou aucun projet de barrage, déversoir ou de bassin d'amont.



Figure 1. Système de pompage installé dans le fleuve.

En 2012, l'installation de la pompe au fleuve s'est effectuée à marée haute à la mi-mai au moyen d'une embarcation. La pompe a été enlevée à la mi-octobre. Lors de l'essai de pompage et d'aération en étangs, l'eau prélevée au fleuve a été acheminée vers deux étangs, dont un était aéré à partir du fond à l'aide d'un Tuyau Bulle™ (figures 3 et 4). L'essai d'aération a débuté le 4 septembre et a pris fin 2 jours plus tard. Les travaux antérieurs de l'équipe avaient effectivement démontré que ce délai était nécessaire pour permettre l'abattement des populations d'*E. coli* sous les niveaux généralement recommandés par les programmes de salubrité à la ferme³. La description des échantillonnages effectués en 2012 et des analyses qui leur sont associées est présentée au tableau 1.

L'eau prélevée dans les étangs a été échantillonnée à partir d'une embarcation et ce, à trois endroits de l'étang et à trois profondeurs à l'aide d'un échantillonneur horizontal Alpha d'une capacité d'un litre, afin de former un composite (figure 2). L'eau au point de pompage a également été prélevée à mi-marée, à partir d'une embarcation avec un échantillonneur Alpha et ce, le plus près possible de la pompe dans le fleuve. Tous les échantillons ont été conservés entre 2 et 8 °C avant leur analyse au laboratoire, laquelle a été effectuée dans un délai de 48 heures.

³ Côté C., 2009. *Faisabilité et efficacité de l'aération des étangs d'irrigation comme méthode d'assainissement de l'eau*. Rapport de recherche – Programme d'approvisionnement en eau Canada-Québec, CDAQ, 38 pages.



Figure 2. Échantillonneur d'eau horizontal d'une capacité d'un litre.



Figure 3. Étang aéré.



Figure 4. Étang témoin non aéré.

Tableau 1. Calendrier d'échantillonnage 2012.

Site	Dates	Analyses effectuées
Point de pompage	4 septembre	<i>E. coli</i> , larves de moules zébrées, physico-chimie et pesticides
	10 septembre	
	19 septembre	
	26 septembre	
Étang aéré	4 septembre (avant aération)	<i>E. coli</i> , larves de moules zébrées et pesticides
	4 septembre (4 heures d'aération)	<i>E. coli</i>
	5 septembre	<i>E. coli</i>
	6 septembre	<i>E. coli</i> , larves de moules zébrées et pesticides
Étang témoin	4 septembre	<i>E. coli</i> , moules zébrées et pesticides
	4 septembre	<i>E. coli</i>
	5 septembre	<i>E. coli</i>
	6 septembre	<i>E. coli</i> , larves de moules zébrées et pesticides

En 2013, en raison des conditions météorologiques (pluies abondantes) ne nécessitant pas de pompage au fleuve et des essais de filtration sur sable en laboratoire, la pompe n'a pas été installée. Un suivi approfondi de la qualité de l'eau au point de pompage a toutefois été effectué. De plus, en raison de la présence de larves de moules zébrées détectées en 2012, des échantillons ont été prélevés dans les étangs afin d'en vérifier la colonisation par le mollusque. Ces échantillons étaient des composites de 1,5 L formés à partir de 9 sous-échantillons (3 emplacements et 3 profondeurs). La description de ces échantillonnages et les analyses y étant associées sont présentées au tableau 2.

Tableau 2. Calendrier d'échantillonnage 2013.

Site	Dates	Analyses effectuées
Point de pompage	29 mai	<i>E. coli</i> , larves de moules zébrées, physico-chimie et pesticides
	7, 12 et 24 juin	
	17, 23 et 31 juillet	
	20 et 28 août 4, 12 et 17 septembre	
Étang aéré	29 mai	Larves de moules zébrées
	7 août	Larves de moules zébrées et physico-chimie
	20 août	Larves de moules zébrées
Étang témoin	7 août	Larves de moules zébrées et physico-chimie
	20 août	Larves de moules zébrées

1.4 Paramètres mesurés et méthodes d'analyse

Les populations d'*E. coli* ont été dénombrées au Laboratoire d'hygiène de l'environnement agricole de l'IRDA à St-Bruno-de-Montarville, en utilisant la méthode MA. 700-Ec-mTEC 3.0 du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ). Les bactéries *E. coli* sont utilisées comme étant des indicateurs d'une contamination fécale récente, et font l'objet des recommandations gouvernementales quant à la qualité de l'eau d'irrigation.

Les populations de larves de moules zébrées (*Dreissena sp.*) totales ont été dénombrées dans un laboratoire spécialisé dans l'identification de la faune aquatique tel que les invertébrés et les poissons, soit les laboratoires SAB situés à Longueuil. Après avoir filtré les échantillons sur un tamis de 53 µm pour les concentrer, les larves étaient dénombrées à l'aide d'une loupe stéréoscopique à un grossissement de 12 X. L'éclairage polarisé croisé a été utilisé pour faciliter la détection des larves. En 2013, l'analyse de la viabilité des larves de moules zébrées a été ajoutée au dénombrement total. Le seuil de détection des larves de moules zébrées a été établi à 0,7 larve par litre.

Le tableau 3 présente les paramètres physico-chimiques, ainsi que leurs limites de détection respectives. Ces analyses ont été réalisées au laboratoire d'analyse agroenvironnementale de l'IRDA à Québec selon les méthodes officielles du MDDEFP.

Tableau 3. Paramètres physico-chimiques mesurés dans l'eau du fleuve et limites de détection.

Paramètre	LD ¹ (mg/L)	Paramètre	LD (mg/L)	Paramètre	LD (mg/L)
pH	n/a ²	Azote ammoniacal (N-NH ₄)	0,023	Potassium (K)	0,03
Calcium (Ca)	0,07	Phosphore total (Ptot)	0,006	Aluminium (Al)	0,013
Magnésium (Mg)	0,01	Nitrates et nitrites (N-NO ₃ +NO ₂)	0,011	Sodium (Na)	0,01
Bore (B)	0,006	Cuivre (Cu)	0,005	Fer (Fe)	0,002
Molybdène (Mo)	0,004	Manganèse (Mn)	0,001	Zinc (Zn)	0,003
Cadmium (Cd)	0,001	Chrome (Cr)	0,002	Cobalt (Co)	0,002
Plomb (Pb)	0,007	Nickel (Ni)	0,003	Arsenic (As)	0,0082
Chlorures	0,37	Conductivité électrique à 25 °C	0,1 µS/cm		
		Solides totaux dissous	n/a		

¹ limite de détection de la méthode

² non applicable

Plusieurs pesticides ont également été mesurés. D'abord, l'acide aminométhylphosphonique (AMPA) et le glyphosate ont été mesurés au CEAEQ selon la méthode MA. 403-GlyAmp 1.0. De plus, les pesticides du groupe organophosphorés et pyréthroides (OPS+) ont été analysés au même laboratoire selon la méthode MA. 400-Pest 1.0. Le tableau 4 présente tous les produits associés à leur limite de détection respective.

En 2013, l'aldrine et le dieldrine se sont ajoutés à la liste des pesticides inclus dans les analyses du groupe OPS+ du CEAEQ. Au même titre, le glufosinate s'est ajouté aux produits analysés dans le groupe glyphosate-AMPA du CEAEQ.

Tableau 4. Pesticides mesurés dans l'eau du fleuve et les étangs et limites de détection.

Paramètre	Limite de détection (µg/L)	Paramètre	Limite de détection (µg/L)	Paramètre	Limite de détection (µg/L)
Aldrine	0,06	AMPA	0,20	Atrazine	0,02
Azinphos-méthyle	0,10	Bendiocarb	0,04	Busan	0,04
Butilate	0,03	Captafol	0,04	Captane	0,06
Carbaryle	0,05	Carbofurane	0,05	Chlorfenvinphos	0,07
Chlorothalonil	0,04	Chloroxuron	0,05	Chlorpyrifos	0,02
Cyanazine	0,03	Cyhalothrine	0,04	Cyperméthrine	0,09
Dééthyle atrazine	0,02	Déisopropyl atrazine	0,02	Deltaméthrine	0,10
Diazinon	0,02	Dichlobénil	0,04	2,6-Dichlorobenzamide	0,02
Dichlorvos	0,05	Diméthénamide	0,02	Diméthoate	0,03
Dimétomorphe	0,42	Disulfoton	0,02	Diuron	0,28
EPTC	0,03	Fénitrothion	0,03	Fludioxonil	0,04
Fonofos	0,01	Glufosinate	0,05	Glyphosate	0,04
Linuron	0,07	Malathion	0,02	Méthidathion	0,06
Méthoxychlore	0,02	Métolachlore	0,01	Métribuzine	0,03
Mévinphos	0,04	Myclobutanil	0,04	1-Naphtol	0,07
Napropamide	0,06	Parathion	0,04	Parathion-méthyl	0,02
Perméthrine	0,09	Phorate	0,05	Phosalone	0,04
Phosmet	0,05	Pirimicarbe	0,05	Propoxur	0,03
Pyraclostrobine	0,21	Simazine	0,01	Tébutiuron	0,31
Terbufos	0,05	Trifloxystrobine	0,04	Trifluraline	0,01

Le pH, la conductivité électrique et la température ont été mesurés dans les étangs, lors des échantillonnages d'eau, à l'aide d'une sonde portative. La turbidité a également été mesurée à l'aide d'un turbidimètre.

Les critères de qualité de l'eau de surface – protection de la vie aquatique (effet chronique), ainsi que les recommandations du CCME pour la qualité de l'eau en vue de protéger les utilisations de l'eau à des fins agricoles sont présentées en annexe.

2. RÉSULTATS

2.1. Caractérisation de l'eau au point de pompage

Au total, 4 et 12 échantillons d'eau prélevés au point de pompage ont été analysés pour 2012 et 2013, respectivement. Le bilan de ces résultats est présenté aux tableaux 5 et 6 quant aux propriétés physico-chimiques et au contenu en pesticides des échantillons, respectivement. Les densités totales de larves de moules zébrées et d'*E. coli* sont présentées aux figures 5 et 6, respectivement.

En 2013, l'ajout de l'analyse de la viabilité des larves de moules zébrées a permis de constater qu'entre 0 et 60 % des larves étaient vivantes (moyenne de 39 %). Les densités de larves vivantes ont varié entre 2 et 45 larves/litre dans le temps, avec des maxima observés entre la fin août et le début de septembre 2013. Dans le fleuve Saint-Laurent, les densités maximales observées sont d'environ 250 larves/L^{4 5}.

Les recommandations du Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) pour la qualité de l'eau en vue de protéger les utilisations de l'eau à des fins agricoles ont toujours été respectées, sauf dans le cas des solides totaux dissous (critère pour l'irrigation de la fraise) (3 échantillons) et les populations d'*E. coli* (3 échantillons). Aucun lien n'a pu être établi entre ces résultats et les données météorologiques. En effet, le contenu le plus élevé en *E. coli*, soit 2 200 UFC/ 100 mL, n'a pas été rencontré suite à une période de précipitations considérable. Dans le même ordre d'idée, des précipitations importantes n'ont pas mené à un contenu plus élevé en bactéries. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer les contenus variables dans le temps, soit l'effet de dilution lors des pluies, la turbidité variable selon les vents pouvant remettre en suspension des contaminants potentiels, et les événements de surverses dans les réseaux sanitaires. Le suivi de la qualité de l'eau du fleuve St-Laurent à Québec effectué par Environnement Canada entre 1995 et 2005 avait également rapporté des concentrations variables de coliformes fécaux, avec un maximum de 2000 UFC/100 mL en 2003⁶. Aucune corrélation n'avait été établie entre les concentrations bactériennes et le débit.

Mis à part le plomb, le cuivre et le fer, les concentrations moyennes en métaux obtenues dans cette étude étaient semblables ou moins élevées que celles rapportées dans une étude d'Environnement Canada⁷ en 2003-2004. En effet, des concentrations 20, 10 et 560 fois plus élevées de plomb, cuivre et fer ont été mesurées dans cette étude, respectivement. Les concentrations d'atrazine et de métolachlore étaient semblables pour les deux études. Dans le même ordre d'idée, la comparaison des données de cette étude avec celles issues d'un suivi de la qualité de l'eau du fleuve près de l'île d'Orléans par le MDDEFP entre 2009 et 2011 démontre un taux moyen 3,5 fois plus élevé de phosphore total dans cette étude. Par contre, les taux moyens d'aluminium, de fer et de manganèse étaient 11,7, 12,8 et 20 fois moins élevées dans cette étude comparativement aux données du MDDEFP, respectivement (MDDEFP, 2014)⁸.

⁴ de Lafontaine et al. 1995. *Abondances des larves de moule zébrée (Dreissena polymorpha) et de Quagga (Dreissena bugensis) aux abords des centrales hydroélectriques de Beauharnois, Les Cèdres et Rivière-des-Prairies*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. Rapport scientifique et technique, ST-14, 52 pages.

⁵ Cusson et de Lafontaine, 1997. *Présence et abondance des larves de moules zébrées dans la rivière Richelieu et le St-Laurent en 1996*. Environnement Canada - Centre St-Laurent. Rapport scientifique et technique ST-143, 58 pages.

⁶ Environnement Canada, 2006. *La qualité de l'eau du secteur fluvial – Paramètres physico-chimiques et bactériologiques*. Programme Suivi de l'état du St-Laurent, 4 pages.

⁷ Environnement Canada, 2005. *La qualité de l'eau du secteur fluvial – la contamination par les toxiques*. Programme Suivi de l'état du St-Laurent, 6 pages

⁸ MDDEFP, 2014. *Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA)*, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement.

Les critères de protection de la vie aquatique (effet chronique) du MDDEFP ont également été respectés dans la majorité des cas. En effet, seul les teneurs en phosphore total de l'eau au point de pompage ont dépassé les critères acceptés. L'étude d'Environnement Canada⁵ avait rapporté une moyenne de phosphore variant autour de 0,03 mg/L dans le fleuve à Québec, alors que la moyenne mesurée dans cette étude était de 0,077 mg/L. Cette problématique pourrait par contre être gérée dans les étangs via l'aération, puisque celle-ci fait précipiter le phosphore dans les sédiments en changeant la forme.

Le suivi de la qualité de l'eau au point de pompage a permis de relever deux principales problématiques quant à son pompage en étang et son utilisation pour l'irrigation, soit les populations d'*E. coli* dépassant parfois les critères du CCME, ainsi que la présence de larves de moules zébrées. Il est également important de noter que la salinité de l'eau au niveau de l'île d'Orléans est variable et qu'il est probable que, dans la partie est de l'île, celle-ci soit élevée pour une utilisation continue à des fins d'irrigation.

Tableau 5. Statistiques descriptives des caractéristiques physico-chimiques de l'eau au point de pompage pour les deux ans d'étude.

Paramètre ¹	Unité	Moyenne	Médiane	Écart-type	I. C. ²	Min	Max	Critère CCME ³
pH		7,97	7,99	0,10	0,05	7,74	8,13	
Conductivité électrique à 25 °C	µS/cm	245	260	29	14	186	270	
Solides totaux dissous ⁴		599	135	1588	778	14	6526	500
N-NH ₄		0,029	0,021	0,033	0,016	< 0,023	0,127	
N-NO ₃ +NO ₂		0,252	0,251	0,155	0,076	0,021	0,561	
P total		0,077	0,056	0,076	0,037	0,022	0,326	
chlorures		18,6	20,1	3,3	1,6	12,3	21,7	110-180 ⁵
K		1,42	1,44	0,14	0,07	1,06	1,57	
Ca		26,5	27,6	3,4	1,7	20	32,2	
Mg		6,64	6,95	1,14	0,56	4,66	8,1	
Na	mg/L	11,72	12,4	1,62	0,79	8,51	13,3	
Al		0,022	0,017	0,017	0,008	0,012	0,082	5
B		0,019	0,02	0,003	0,001	0,013	0,021	0,5 – 1,0 ⁵
Cu		0,011	0,011	0,004	0,002	0,004	0,018	1
Fe		0,028	0,018	0,027	0,013	0,005	0,103	5
Zn		0,004	0,0025	0,004	0,002	0,001	0,016	⁶
Mn		0,0007	0,0005	0,0010	0,0005	< 0,001	0,004	0,2
Mo		0,0013	0,001	0,0014	0,0007	< 0,004	0,004	0,01 - 0,05
Cr		0,00006	< 0,002	0,00025	0,00012	< 0,002	0,001	0,0049
Pb		0,0005	< 0,007	0,0010	0,0005	< 0,007	0,003	0,2
Ni		0,0009	0,001	0,0007	0,0003	< 0,003	0,002	0,2

¹ Tous les échantillons étaient sous la limite de détection pour le cadmium (0,001 mg/L), le cobalt (0,002 mg/L) et l'arsenic (0,0082 mg/L).

² Intervalle de confiance.

³ Recommandations pour la qualité de l'eau en vue de protéger les utilisations de l'eau à des fins agricoles.

⁴ Les cellules en gris représentent des données dépassant la recommandation du CCME de 500 mg/L pour la culture de la fraise.

⁵ Recommandation pour la culture de la fraise.

⁶ Varie selon le pH du sol.

Tableau 6. Statistiques descriptives des concentrations en pesticides de l'eau au point de pompage pour les deux ans d'étude.

Produit ^{1,2}	Unité	LD ³	Moyenne ⁴	Médiane ⁴	Écart-type ⁴	Intervalle de confiance ⁴	Min	Max
Atrazine	µg/L	0,02	0,048	0,045	0,016	0,009	0,03	0,1
Dééthyle-atrazine		0,02	0,03	0,03	0,005	0,003	< 0,02	0,03
Déisopropylatrazine		0,02	0,011	0,01	0,003	0,001	< 0,02	0,02
Diméthénamide		0,02	0,011	0,01	0,003	0,001	< 0,02	0,02
Diuron		0,28	0,154	0,14	0,057	0,028	< 0,28	0,37
Glyphosate		0,04	0,041	0,02	0,042	0,021	< 0,04	0,18
Métolachlore		0,01	0,019	0,01	0,016	0,009	0,01	0,06

¹Tous les autres produits ont été sous la limite de détection pour tous les échantillons.

²Tous les échantillons ont respecté les critères existants du CCME (irrigation) et du MDDEFP (protection de la vie aquatique).

³Limite de détection de la méthode.

⁴Les résultats sous la limite de détection ont été considérés égaux à la moitié de la limite de détection pour les calculs.

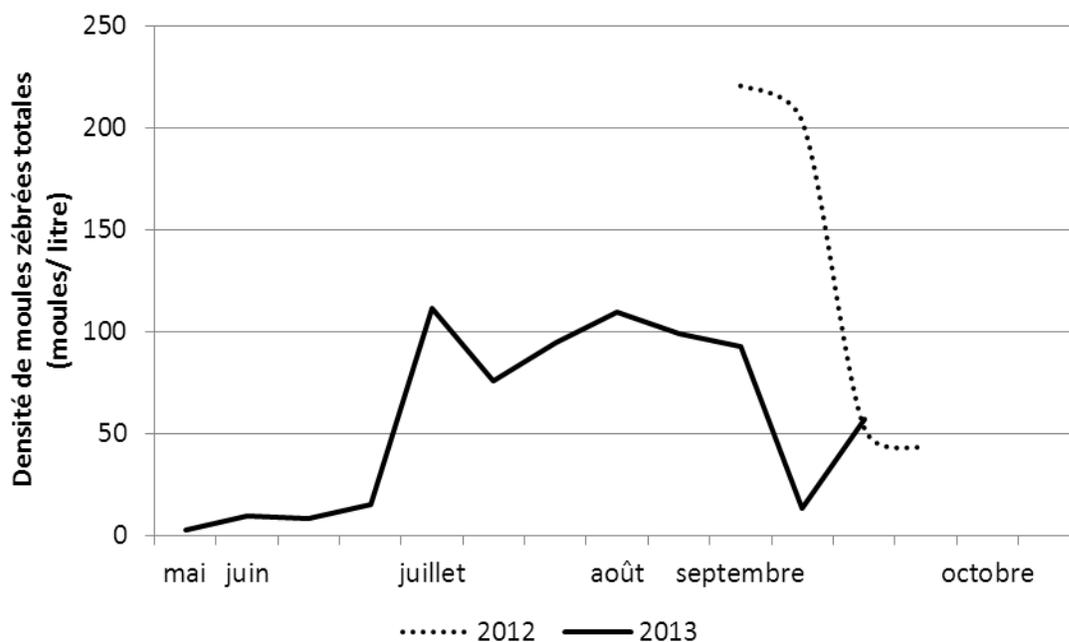


Figure 5. Densités totales de larves de moules zébrées dénombrées au point de pompage en 2012 et 2013.

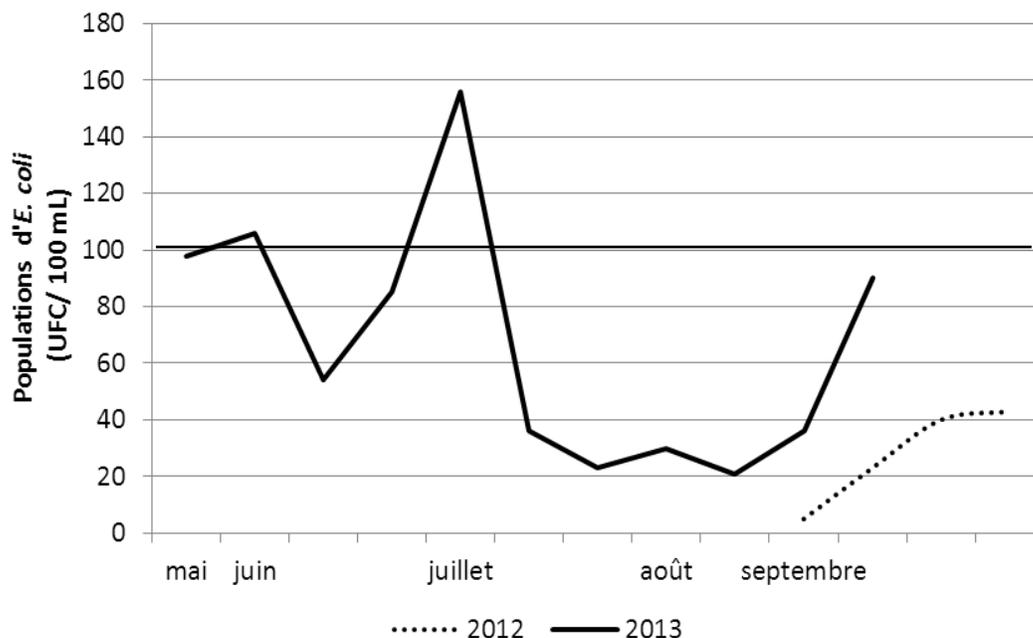


Figure 6. Populations d'*E. coli* dénombrées au point de pompage en 2012 et 2013. Le seuil recommandé par le CCME est représenté par un trait. Il est à noter que la donnée du 17 septembre 2013 (2 200 UFC/100 mL) ne paraît pas dans cette figure.

2.2. Essai d'aération en étangs

Un essai d'aération en étang a été réalisé du 4 au 6 septembre 2012. Suite au remplissage des deux étangs par l'eau pompée au fleuve, l'aération a débuté dans l'étang aéré et s'est poursuivie durant 2 jours et ce, 24h/24. Seules les populations d'*E. coli* ont été dénombrées quotidiennement, alors que les autres paramètres ont été évalués avant le début de l'aération et deux jours après. Les résultats des échantillons pris dans les étangs sont présentés au tableau 7.

Tableau 7. Impact de l'aération en étang sur les propriétés physico-chimiques de l'eau et son contenu en pesticides, *E. coli* et larves de moules zébrées.

Variable mesurée ¹	Durée de l'aération ²							
	avant		4 heures		24 h		48 heures	
	Témoin	Aéré	Témoin	Aéré	Témoin	Aéré	Témoin	Aéré
<i>E. coli</i> (UFC/100 ml)	1	10	1	5	21	8	40	2
Moules zébrées (larves/ L)	4	23					7	16
Diuron (µg/ L)	0,79	1,3					0,42	0,38
Dééthyle atrazine (µg/ L)	0,03	0,03					0,03	0,03
Atrazine (µg/ L)	0,04	0,04					0,05	0,04
Diméthénamide (µg/ L)	0,07	1,00					< 0,002	< 0,002
pH	8,7	9,06	8,55	8,74	8,64	8,91	8,51	8,84
Conductivité électrique (µS/cm)	310,2	298,3	314,7	299,9	313,7	301,6	312,6	301,2
Turbidité (NTU)	1,29	2,08	0,33	1,66	0,89	1,67	0,65	1,59
Température (°C)	21,4	21,6	21,9	21,9	21,9	22	21,9	21,9

¹ Seuls les pesticides présentant des contenus supérieurs à la limite de détection sont présentés en tableau.

² Les cellules en gris représentent des analyses qui n'ont pas été effectuées.

Bien que l'impact de l'aération sur les populations d'*E. coli* et de larves moules zébrées puisse paraître négligeable, leur faible contenu dans l'eau dès le début de l'essai pourrait expliquer cette observation. L'aération semble avoir joué un rôle dans la dégradation du diuron, puisque le taux d'abattement dans l'étang aéré (71 %) était plus élevé que dans l'étang témoin (47 %). La présence de diméthénamide s'est avérée nulle dans les deux étangs après 48 heures et il est donc impossible de savoir quel impact a eu l'aération sur le phénomène. Il est possible que l'aération ait accéléré la dégradation du produit, mais il semble que l'entreposage sans nouvelle entrée d'eau ait également eu un effet. Des expériences supplémentaires seraient toutefois nécessaires afin de valider ces hypothèses. Il serait également intéressant d'étudier la présence de sous-produits de dégradation des pesticides dans un contexte similaire.

La présence de moules zébrées dans les deux étangs a ensuite été notée à la fin du mois de juillet 2013. Une visite du site au mois de mai n'avait pas permis de faire l'observation du mollusque dans les étangs. Un échantillon des moules présentes dans les étangs a confirmé la présence de deux espèces de moules zébrées, soit la dreissène polymorphe (*Dreissena polymorpha*) et la Quagga (*Dreissena rostriformis bugensis*), dans une proportion relative de 98,0 % et 2,0 %, respectivement. La longueur de coquille des moules variait de 4,85 à 14,60 mm (moyenne = 9,6 mm), correspondant à des moules de 1 an issues de la cohorte 2012 (figure 7). Ces moules étaient donc à un stade juvénile ne pouvant pas se reproduire. Des moyens de contrôle ont donc été mis en place afin d'éradiquer cette population de moules et éliminer tout risque de reproduction et de propagation éventuelle de nouvelles cohortes dans le système d'irrigation. Les étangs ont été asséchés progressivement en prenant bien soin de faire acheminer l'eau vers des parcelles loin de plans d'eau de surface. L'assèchement et le gel hivernal permettront l'éradication de la moule dans les étangs.

La présence de moules zébrées juvéniles dans les étangs a démontré que la présence de larves de moules zébrées dans les eaux fluviales au point de pompage peut résulter en l'établissement de populations de cette espèce indésirable dans les étangs et augmenter le risque de contamination du système de pompage et d'irrigation. Un examen de la tuyauterie réalisé en octobre 2013 n'a pas révélé la présence de moules zébrées figées aux parois intérieures de la conduite d'amenée d'eau entre la pompe submergée et les étangs. La mise en place d'un système d'élimination des larves de moules zébrées dans l'eau de pompage afin de réduire les risques de colonisation des étangs a donc été jugée nécessaire.

Suite à l'observation du mollusque dans les étangs, les activités de pompage ont cessé et ont fait place à des essais de filtration lente sur sable en laboratoire. Ce procédé de traitement a été choisi notamment en raison de son efficacité reconnue dans les systèmes de traitement de l'eau potable et de sa simplicité d'entretien. Il s'agit également d'un procédé de traitement qui n'utilise pas d'intrants chimiques et qui ne cause pas d'effets potentiellement néfastes pour l'environnement et la santé humaine. Ces résultats sont présentés à la section suivante.



Figure 7. Moules zébrées (stade juvénile) présentes dans l'étang aéré en août 2013.

2.3. Essais de filtration lente sur sable en laboratoire

Quatre essais de filtration sur sable ont été réalisés au laboratoire entre le 23 juillet et le 28 août 2013. En bref, pour les trois premiers essais, l'eau prélevée au fleuve a été filtrée durant 3 heures au cours desquelles tout le filtrat a été recueilli pour fins d'analyse. Lors du dernier essai, l'eau a été filtrée durant 9 heures, afin de vérifier si le sable conservait ses propriétés filtrantes suite à une plus longue période.

Le matin des essais, quatre récipients de 20 litres ont été remplis d'eau prélevée au point de pompage à l'Île d'Orléans et maintenus au frais jusqu'aux laboratoires. Le premier essai a été réalisé au laboratoire de génie environnemental de l'Université de Sherbrooke (figure 8), alors que les autres essais se sont déroulés dans les laboratoires de l'IRDA à St-Bruno-de-Montarville (figure 9). Mis à part le premier essai où 2 cylindres ont été utilisés, les essais de filtration sur sable impliquaient trois cylindres de plastique de 5 cm de diamètre et de 1 m de long (figure 10). Afin de représenter adéquatement un filtre à sable pouvant être utilisé dans le contexte du pompage au fleuve de cette étude, chaque cylindre était rempli de 10 cm de gravier (1,9 cm net), suivi d'une couche de 38 cm de sable dont le coefficient d'uniformité était de 2,53 et le D_{10} égal à 0,18 mm. Ces caractéristiques indiquent que la porosité de filtration de ce sable était d'environ 68 μm .

L'eau prélevée au fleuve a été ajoutée en continu à l'aide d'une pompe péristaltique, de façon à maintenir un débit filtré variant entre 1,5 et 2,2 litres à l'heure. Cet intervalle de débit représente à échelle réduite ce qui s'appliquerait chez un producteur agricole désirant installer un système de filtration sur sable. Des échantillons d'eau brute ont été prélevés avant filtration, et l'eau traitée a été prélevée à toutes les heures à la sortie des cylindres. Au total, 60 échantillons de 1,5 litres d'eau filtrée ont été prélevés et analysés pour leur contenu en larves de moules zébrées et en *E. coli*. Le seuil de détection des larves de moules zébrées a été estimé à 1 larve par litre.



Figure 8. Dispositif expérimental de filtration lente sur sable à l'Université de Sherbrooke.



Figure 9. Dispositif expérimental de filtration lente sur sable au Laboratoire d'hygiène de l'environnement agricole de l'IRDA.

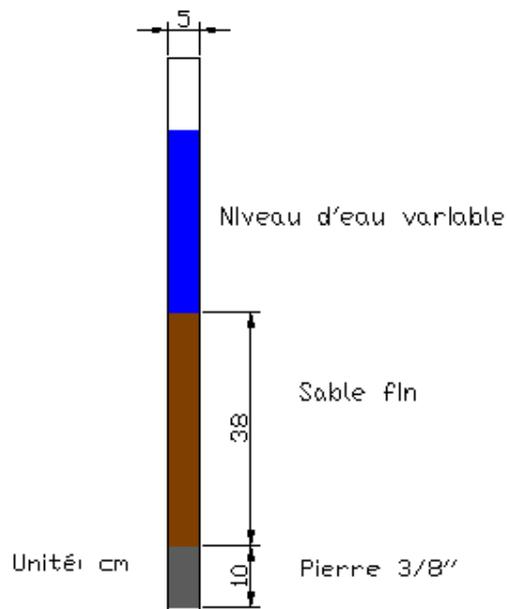


Figure 10. Caractéristiques des cylindres utilisés pour la filtration lente sur sable et gravier.

En moyenne, les essais ont montré un abattement de 77 % des populations de bactéries *E. coli*. Par contre, les populations initiales dans l'eau prélevée au fleuve étaient faibles, variant entre 20 et 41 UFC/100 mL.

Pour tous les essais confondus, les densités moyennes de larves de moules zébrées à l'entrée des cylindres s'élevaient à 78 larves/ litre d'eau, avec un pourcentage de larves vivantes de 41 %. Dans les échantillons d'eau filtrée, seuls deux échantillons ont révélé la présence d'une larve de moule, dont aucune n'était viable (n=60). Ces deux échantillons étaient issus de l'essai de longue durée, soit après 6 et 9 heures de filtration, respectivement. Ces résultats ont suggéré que la saturation du filtre après plusieurs heures de filtration pourrait avoir un impact sur son efficacité. Il est toutefois important de noter que ces deux larves de moules n'étaient pas vivantes. Une étude approfondie de l'efficacité du filtre à sable lent après une longue période d'utilisation est requise.

2.4. Analyse économique

2.4.1. Mise en contexte et approche méthodologique

L'analyse économique vise à comparer sur le plan financier deux options d'approvisionnement en eau, soit le pompage de l'eau du fleuve et l'approvisionnement aux cours d'eau de l'île d'Orléans. Dans la deuxième option, le creusage de nouveaux étangs est nécessaire en raison des contraintes exposées précédemment dans la section 1.1.

Pour y arriver, l'approche méthodologique consiste donc en premier lieu à évaluer les coûts du pompage de l'eau du fleuve. Ces coûts se composent en majeure partie de l'amortissement de l'investissement initiale dans les équipements et les infrastructures. À ces coûts sont ajoutés les coûts

d'opération annuels, lesquels sont relativement peu élevés comme on le voit dans la partie sur les résultats. Les coûts de pompage de l'eau du fleuve peuvent ensuite être comparés aux alternatives, en particulier à l'approvisionnement à partir des cours d'eau insulaires. Les coûts associés à cet approvisionnement alternatif incluent les coûts de creusage des étangs d'irrigation et leur entretien, de même que les coûts de perte de terrain.

Il est apparu évident, au fil du développement du projet, que la décision d'un producteur de procéder ou non à l'approvisionnement en eau du fleuve relève de sa gestion des risques. En effet, l'hypothèse de départ a été que la régularité de l'approvisionnement en eau ne doit pas être compromise mais qu'elle doit être maintenue fixe. Dans ces circonstances, l'analyse se porte sur le coût des sources d'approvisionnement pour assurer un approvisionnement en eau suffisant pour ne pas subir de rupture ou de ralentissement de l'irrigation. D'un autre point de vue, la situation pourrait être comparée à différentes options d'assurance sur les rendements qui procurent toutes la même protection, mais à différents coûts. L'analyse compare donc aussi le coût d'approvisionnement en eau aux primes d'assurance-récolte que peuvent payer les producteurs pour certaines cultures et ce, afin d'offrir un repère aux lecteurs en matière de gestion des risques.

2.4.2. Résultats et analyse

À partir des factures fournies par l'entreprise participante, il est d'abord assez simple d'établir l'investissement nécessaire en équipement et en infrastructure du pompage de l'eau du fleuve. Le coût de cet investissement est présenté au tableau 8 et il est ventilé selon les différents postes d'investissement. Les coûts de consultation et de services sont capitalisés et par la suite, amortis sur la durée de vie de l'infrastructure.

Tableau 8. Investissement en équipements, infrastructures et services d'un système de pompage de l'eau du fleuve.

Item de coût	Montant
Pompage	
Permis	490 \$
Services professionnels	348 \$
Équipements et infrastructure	56 298 \$
Main-d'œuvre fournie	864 \$
Sous-total	57 999 \$
Filtration	
Infrastructures et matériaux	10 000 \$
Subvention	(11 417 \$)
Total	56 582 \$

L'investissement initial permet de calculer une partie des coûts annuels, soit les coûts d'amortissement. Il faut aussi tenir compte des coûts d'opération récurrents d'une année à l'autre et qui sont surtout associés à l'installation, l'entretien et la désinstallation du système. Dans l'ensemble des calculs, les

coûts de main-d'œuvre considèrent des journées de travail de huit heures et un salaire horaire de 18 \$/heure, incluant les bénéfices marginaux. L'ensemble des coûts annuels est présentée au tableau 9.

Tableau 9. Coûts annuels du pompage et de la filtration de l'eau du fleuve.

Item de coût		Montant
Amortissement annuel		
Investissement total	56 582 \$	
Durée de vie	20 ans	
Amortissement linéaire		2 829 \$
Coûts d'opération		
Installation/désinstallation (main-d'œuvre)		288 \$
Entretien (main-d'œuvre)		180 \$
Analyses d'eau (2/année)		200 \$
Total		3 497 \$

Les coûts annuels du pompage de l'eau du fleuve se chiffrent donc à pratiquement 3 500 \$ selon les données recueillies dans ce projet. Il est nécessaire de mettre ce résultat en perspective avec le volume d'eau que procure cette source d'approvisionnement ou encore, les volumes de fruits ou de légumes produits. Dans le cas présent, il a été estimé que les infrastructures et les équipements mis en place devraient permettre l'approvisionnement annuel moyen de 25 000 m³. Mesurés en proportion de ce volume, les coûts annuels de pompage de l'eau du fleuve s'élèvent donc à 0,14 \$/m³. Il est difficile de statuer sur la nature de ces coûts unitaires, à savoir s'ils seraient linéaires en fonction du volume d'approvisionnement. Cette information est toutefois importante car elle influencerait la décision d'un producteur qui aurait à choisir entre un investissement individuel pour un volume d'eau potentiellement et considérablement moindre, d'une part, et un investissement collectif avec d'autres producteurs pour le pompage d'un volume avoisinant 25 000 m³. Pour la suite de l'analyse, l'hypothèse de coûts linaires est retenue mais il est recommandé de considérer ce facteur pour toute décision d'investissement.

Cela dit, tel que mentionné précédemment, l'alternative au pompage de l'eau du fleuve est le creusage de nouveaux étangs d'irrigation. Cette alternative ne vise pas en soi à augmenter le flux d'approvisionnement en eau mais plutôt le stockage de cette eau en préparation de périodes où l'approvisionnement serait irrégulier. Dans ce cas, les conditions d'irrigation pourraient être à un niveau non-optimal et cela risquerait de compromettre les rendements attendus.

Dans ce contexte, il faut mettre en parallèle les coûts annuels de pompage de l'eau du fleuve avec les coûts annuels anticipés de creusage de nouveaux étangs. Le Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec rapporte que les coûts de creusage initiaux s'élèveraient en moyenne à 3,39 \$/m³ pour un étang de moins de 5 000 m³ et que ce montant pourrait être de 4,88 \$/m³ au maximum (CRAAQ, 2012)⁹. Ces montants correspondent à un investissement initial variant de 16 950 \$, en moyenne, à 24 400 \$ au maximum. Il peut être envisagé que le creusage initial d'un étang d'irrigation est réalisé pour une très longue période de temps, en mettant de côté pour l'instant les coûts annuels

⁹ Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). 2012. *Étangs et puits – Coût du matériel et de l'excavation*. AGDEX 754. CRAAQ, 3 pages.

d'entretien. Si une période de 50 ans est retenue pour la durée de vie d'un étang et que les montants sont rapportés par unité de volume d'eau pourvue par le pompage, soit 25 000 m³, le coût annuel moyen serait alors de 0,01 \$/m³/an et au maximum, de 0,02 \$/m³/an. Si cependant la durée de vie d'un étang est plutôt établi à 20 ans, les mêmes montants seraient plutôt de 0,03 \$/m³/an et 0,05 \$/m³/an.

À ces coûts, il faut ajouter des coûts d'entretien annuels. Une hypothèse réaliste est que l'entretien nécessiterait à chaque année des travaux d'excavation pendant une demi-journée et d'autres coûts en main-d'œuvre représentant une journée de temps-homme. En retenant cette hypothèse, les coûts annuels d'entretien pourraient égaler quelque 750 \$¹⁰. Si ces coûts sont ensuite rapportés sur le volume d'eau obtenu par le pompage au fleuve, soit 25 000 m³, le coût unitaire annuel d'entretien se traduirait alors en une somme annuelle de 0,03 \$/an.

L'ensemble de ces facteurs d'analyse résultent à des coûts de creusage annuels qui pourraient varier entre 0,04 \$/m³/an et 0,08 \$/m³/an. Cet intervalle de coûts paraît passablement moins élevé que les coûts de pompage annuels de 0,14 \$/m³ et alors, l'approvisionnement en eau du fleuve peut être moins attirante. Cependant, l'option du creusage de nouveaux étangs présentent plusieurs contraintes. Tout d'abord, la réglementation en vigueur à l'Île d'Orléans limite considérablement les sites potentiels où creuser de nouveaux étangs. De plus, selon les experts du milieu, le profil de sol à l'Île d'Orléans est à plusieurs endroits peu favorables au creusage et la nappe phréatique, difficile à atteindre. Dans ces conditions, et selon l'endroit, le creusage de nouveaux étangs peut même être impossible. Alors, l'option du pompage de l'eau au fleuve, en plus de représenter pratiquement la seule autre alternative, peut être vue comme un moyen de gérer plus efficacement le risque lié à l'approvisionnement en eau d'irrigation. Il peut être intéressant, dans ce contexte, de comparer le coût annuel de pompage de l'eau du fleuve à d'autres coûts de gestion des risques, comme la prime d'assurance-récolte.

Dans le cas étudié dans ce projet, le volume d'eau amené du fleuve jusqu'aux étangs existants correspond au besoin d'irrigation de 45 hectares (ha) de fraises à jour neutre. Exprimé sous cet angle, le coût annuel de pompage de l'eau du fleuve est de 78 \$/ha¹¹. Cette somme peut représenter le coût de gestion des risques associés à l'approvisionnement en eau d'irrigation en évitant les fluctuations de cet approvisionnement. À titre comparatif, ce montant peut être mis en parallèle avec la contribution d'assurance-récolte qu'aurait à faire un producteur de fraises à jour neutre. Cette contribution peut s'élever à plusieurs centaines de dollars par hectare annuellement. En mettant à jour la référence à ce sujet (CRAAQ, 2007)¹², la contribution d'assurance-récolte dans la fraise à jour neutre peut s'élever à plus de 1 500 \$/ha¹³. Dans cette perspective, le coût annuel de pompage de l'eau du fleuve représente une option relativement modique pour protéger le rendement potentiel des cultures maraîchères et fruitières à l'Île d'Orléans. En d'autres mots, bien que le pompage de l'eau du fleuve soit plus coûteux que le creusage de nouveaux étangs sur le strict plan financier, il est logique de favoriser cette option pour protéger le potentiel de rendement, surtout en considérant les nombreuses contraintes non-financières du creusage et de la notion de gestion des risques. Cela dit, le cas de chaque entreprise devrait être analysé indépendamment en statuant, entre autres, la meilleure formule de partage des coûts.

¹⁰ (150 \$/heure * 4 heures) + (18 \$/heure * 8 heures) = 744 \$

¹¹ 3 500 \$ ÷ 45 ha = 77,78 \$/ha

¹² Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). 2007. *Fraise à jour neutre – Budget. AGDEX 232/821b*. CRAAQ, 5 pages.

¹³ Prix unitaire * Niveau de garantie * taux de prime (29 500 \$/ha * 80 % * 6,60 % = 1 558 \$/ha)

2.5. Diffusion des résultats

Le bilan des activités de diffusion est présenté au tableau suivant.

DIFFUSION DES RÉSULTATS

Activités prévues de l'ANNEXE A	Activités réalisées	Description (thème, titre, endroit, etc.)	Date de réalisation	Nombre de personnes rejointes	Visibilité accordée au PCAA
Publication d'une fiche technique synthèse	Fiche synthèse	Utilisation de l'eau du fleuve pour l'irrigation des cultures horticoles de l'île d'Orléans	janvier 2014	75	Logo et mention
Mémoire de maîtrise	Mémoire de maîtrise	« Étude de la faisabilité de l'utilisation de l'eau du fleuve pour l'irrigation des cultures horticoles de l'île d'Orléans »	Dépôt final en avril 2014	50	Mention
Rencontre d'information 1 pour les producteurs de l'île d'Orléans	Présentation des résultats 2012	Journée d'information du MAPAQ	7 février 2013	40	Mention
Rencontre d'information 2 pour les producteurs de l'île d'Orléans	Présentation des résultats – bilan du projet	Journée d'information du MAPAQ	Janvier ou février 2014	50	Logo et mention

3. CONCLUSIONS

Ce projet a montré que l'eau du fleuve, au point de pompage étudié, présentait un contenu en pesticides et des propriétés physico-chimiques adéquates pour l'irrigation des cultures destinées à la consommation humaine. Par contre, deux paramètres nécessitent que l'eau soit traitée avant son utilisation au champ, soit les populations d'*E. coli* et de larves de moules zébrées. En effet, des populations d'*E. coli* dépassant les recommandations du CCME pour l'irrigation ont été observées à quelque reprises durant le projet. Par ailleurs, un traitement adéquat de l'eau doit être effectué avant son entrée en étangs afin d'éviter l'établissement et le maintien de populations de moules zébrées à l'intérieur des étangs et dans l'ensemble du système d'alimentation en eau et d'irrigation, ainsi qu'une éventuelle propagation de la moule dans les plans d'eau de l'île. Les essais préliminaires de filtration lente sur sable semblent prometteurs quant à l'abattement des populations de mollusques.

Les collaborations mises en place dans le cadre de ce projet permettront, d'une part, le suivi de la problématique des moules zébrées par des experts d'Environnement Canada, de façon à ce que le risque de propagation de l'espèce au sein des milieux naturels de l'île d'Orléans soit nul. D'autre part, les essais de filtration lente sur sable ont également été bonifiés suite aux discussions avec des experts de l'Université de Sherbrooke, de sorte que les essais en laboratoire puissent être applicables à l'échelle de la ferme.

Des essais futurs permettraient de valider l'efficacité de la filtration lente sur sable tant sur les populations de moules zébrées que sur les *E. coli*, de façon à vérifier si l'aération en étang s'avère nécessaire pour contrôler ces dernières avant l'irrigation.

4. SOMMAIRE DES ACCOMPLISSEMENTS DU PROJET

L'approvisionnement en eau pour l'irrigation des cultures est une problématique importante dans certaines zones du Québec telles que l'île d'Orléans. Le pompage de l'eau du fleuve Saint-Laurent est une solution potentielle, mais cette pratique doit être techniquement et économiquement viable pour le producteur agricole tout en assurant la salubrité des récoltes et le respect de l'environnement.

Ce projet a été mis en place afin de préciser si le pompage au fleuve est techniquement applicable pour le producteur agricole. Il a permis de préciser la qualité microbiologique et physico-chimique de l'eau et de déterminer si un traitement préalable à l'application au champ est nécessaire.

Le projet a mis en relief la faisabilité du pompage au fleuve. Il a toutefois révélé la présence de larves de moules zébrées et de concentrations en *E. coli* excédant parfois les critères recommandés. L'équipe multidisciplinaire (MAPAQ, IRDA, Environnement Canada et producteur agricole) a convenu d'une approche de traitement, soit la filtration lente sur sable. Des essais en laboratoire ont donc été effectués afin d'éprouver l'efficacité de cette méthode quant au contrôle des larves de moules zébrées et de l'abattement des populations d'*E. coli*.

Les résultats ont démontré que la filtration lente sur sable s'avère prometteuse. Il est toutefois possible que celle-ci doive être combinée à l'aération en étangs pour le contrôle des populations d'*E. coli*, ainsi qu'à un mode de gestion des étangs empêchant une colonisation par la moule zébrée.

Un filtre lent sur sable a été mis en place chez le producteur agricole participant à l'étude. Le mode de gestion requis pour en assurer l'efficacité à long terme et à grande échelle sera établi dans le cadre de projets futurs.

5. PLAN DE FINANCEMENT ET CONCILIATION DES DÉPENSES

Les pièces justificatives sont envoyées par la poste.