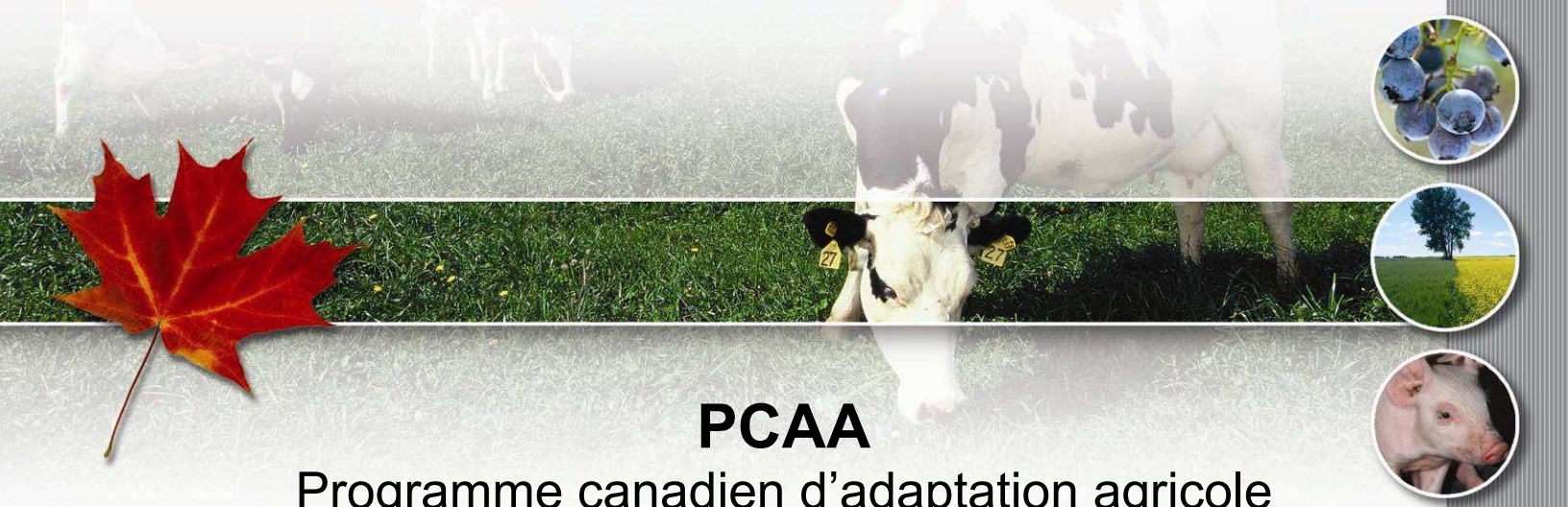




PCAA

Programme canadien d'adaptation agricole

Rapport final –version abrégée

Solutions optimales pour une gestion durable des eaux de lavage de légumes à l'échelle de la ferme : projets pilotes

Projet # 6711

Association des producteurs maraîchers du Québec (APMQ)

Juin 2012 à janvier 2014

Rédigé par
Patrick Brassard, IRDA
Mylène Généreux, IRDA
Caroline Côté, IRDA
Stéphane Godbout, IRDA
Luc Belzile, IRDA

31 janvier 2014

Équipe de réalisation

Répondants et responsables scientifiques

Caroline Côté, agr., Ph.D., IRDA

Stéphane Godbout, ing. P. Eng., Ph.D., agr., IRDA

Chargés de projet

Patrick Brassard, ing. jr., M.Sc., IRDA

Sébastien Brossard, agro-économiste, CQH

Mylène Généreux, M.Sc., IRDA

Frédéric Pelletier, ing., M.Sc., IRDA

Collaborateurs

Luc Belzile, agronome et économiste, M.Sc., IRDA

David Bilodeau, biologiste, IRDA

Élisabeth Fortier, agr., M.Sc., APMQ

Annie Fortin, biologiste, IRDA

Sylvie Karasira, agr., M.Sc., APMQ

Producteurs maraîchers, APMQ

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
Liste des tableaux et des figures	3
1. Description du projet	4
2. Outil décisionnel.....	6
3. Réduction de la quantité d'eau potable utilisée	7
4. Traitement expérimental des eaux de lavage.....	7
5. Essais de centrifugation	9
6. Projet pilote – Site 1	10
7. Projet pilote - Site 2.....	13
8. Projet pilote - Site 3.....	16
9. Analyse des coûts d'abattement.....	21
10. Conclusions	24
Références	25

Liste des tableaux et des figures

Tableau 1. Variables mesurées et méthodes d'analyse.	5
Tableau 2. Taux d'abattement des MES, de la DBO ₅ et du P _{total} au site 1.	10
Tableau 3. Efficacité estimée du système de la solution de traitement proposée au site 1.....	11
Tableau 4. Taux d'abattement (%) des différents paramètres selon le bac au site 2.	13
Tableau 5. Efficacité estimée du système de la solution de traitement proposée au site 2.....	14
Tableau 6. Efficacité estimée du système de la solution proposée au site 2 (avec dessableur).....	16
Tableau 7. Taux d'abattement de chaque bac lors de l'essai 1 au site 3.	17
Tableau 8. Taux d'abattement de chaque bac lors de l'essai 2 au site 3.	17
Tableau 9. Efficacité estimée du système de la solution de traitement proposée au site 3.....	19
Tableau 10. Abattement annuel du phosphore par site d'essai et par étape de conditionnement.....	22
Tableau 11. Calcul du coût d'acquisition d'un dessableur sur la base de l'efficacité d'abattement.	23
Figure 1. Chaîne de lavage expérimentale.	7
Figure 2. Chaîne de traitement des eaux de lavage.	8
Figure 3. Échantillons d'eau à l'entrée et après la décantation, l'aération et la sortie de la chaîne.....	8
Figure 4. Centrifugeuse utilisée pour les essais dans l'eau de lavage de carottes en sol organique.	9
Figure 5. Couleur dans les cinq unités de sédimentation après 36 heures sans nouvelle entrée d'eau ...	10
Figure 6. Schéma des installations de lavage actuelles au site 1 ainsi que l'option de traitement.	12
Figure 7. Schéma des installations de lavage actuelles au site 2 ainsi que l'option de traitement.	15
Figure 8. Schéma des installations de lavage actuelles au site 3 ainsi que l'option de traitement	20
Figure 9. Bénéfices et coûts d'abattement marginaux de la pollution.....	21

1. Description du projet

La qualité des cours d'eau en milieu agricole reste un sujet prioritaire pour les instances gouvernementales provinciales, les amenant ainsi à être de plus en plus vigilantes quant aux différents rejets agricoles dans les cours d'eau.

Depuis 2009, une équipe regroupant la Fédération des producteurs maraîchers du Québec (FPMQ), l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), le Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec (MAPAQ) et le Ministère du développement durable, de l'environnement, de la faune et des parcs (MDDEFP) travaille sur le développement de pratiques durables de gestion des eaux issues du lavage des légumes racines. Suite à une campagne de caractérisation, une revue de littérature, une consultation d'experts, des essais de traitement de l'eau à petite échelle, ainsi que des bilans massiques dans quatre entreprises, ce projet a permis d'intégrer cinq principes directeurs, soit :

1. Optimiser l'enlèvement de la terre à sec, avant le passage dans la laveuse à l'aide de dessableurs;
2. Optimiser le dimensionnement et l'entretien des bassins de sédimentation;
3. Proposer des alternatives aux bassins de sédimentation en terre noire si requis;
4. Préciser l'impact de l'aération sur la dégradation du pigment issu du lavage de la betterave;
5. Favoriser un usage judicieux de l'eau en optimisant les volumes d'eau utilisés.

L'intégration de cette approche pourra mener au développement d'un outil d'aide à la décision, de façon à déterminer les interventions qui pourront être choisies en fonction des contraintes et particularités de chaque entreprise.

Objectifs

Le projet visait à évaluer des interventions techniquement et économiquement viables pour le producteur agricole permettant d'améliorer la qualité de l'eau issue du lavage des légumes racines et tenant compte des contraintes réglementaires actuelles.

Les objectifs spécifiques étaient de :

1. Documenter l'impact de différentes interventions sur la qualité de l'eau issue du lavage des légumes dans trois entreprises agricoles;
2. Développer un outil de type arbre de décision permettant de guider le producteur agricole dans le choix des interventions et tenant compte des contraintes et particularités de l'entreprise;
3. Valider l'outil d'aide à la décision en projets pilotes;
4. Réaliser une analyse des coûts d'abattement;
5. Diffuser les résultats du projet auprès des producteurs maraîchers et intervenants du secteur.

Afin d'évaluer plusieurs approches de gestion de l'eau de lavage des légumes racines, différentes expérimentations ont été réalisées, soit :

1. une chaîne de lavage mise en place à la ferme expérimentale de l'IRDA à Deschambault;
2. des essais de centrifugation d'eau de lavage de carottes cultivées en sol organique à la ferme expérimentale de l'IRDA à St-Lambert-de-Lauzon;
3. Des projets pilotes dans trois entreprises agricoles dont les produits et types de sol étaient variés.

Les paramètres suivants, ainsi que les méthodes d'analyse approuvées par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) sont présentés au tableau 1. Les variables mesurées ont été choisies selon les normes environnementales en vigueur.

Tableau 1. Variables mesurées et méthodes d'analyses.

Variables	Méthodes d'analyses
Matières en suspension (MES)	MA. 104-SS 2.0
Solides totaux en suspension (STS)	MA. 115-SS 1.2
Matières volatiles en suspension (MVES)	MA. 115-SS 1.2
Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	MA. 315-DBO 1.1
Phosphore total (P _{total})	MA. 315-P 2.0
pH	MA. 100-pH 1.1
Azote total (N _{total})	MA. 300-NTPT 2.0
Azote ammoniacal (N-NH ₄)	MA. 300-N 2.0
Nitrates et nitrites (N-NO ₃ + NO ₂)	MA. 300-NO3 2.0
Couleur vraie	MA. 103-col 2.0
Couleur	Mesure de l'absorbance (balayage de longueurs d'ondes)

Afin de simplifier l'interprétation des résultats, les données correspondant aux normes de rejet les moins contraignantes du MDDEFP (indépendamment des objectifs environnementaux de rejet), ont été mises en valeur. Ainsi, les critères visés étaient de 55 mg/ L en DBO₅, 70 mg/ L en MES et 2,6 mg/ L en P_{total}.

2. Outil décisionnel

Les travaux antérieurs réalisés par l'équipe ont permis de bâtir une réflexion qui permettrait de régir les interventions éventuelles à apporter aux installations de lavage. Les bases de cette réflexion peuvent être résumées comme suit.

A. Faire le bilan de l'entreprise

- a. Mesurer les volumes et débit d'eau potable utilisés
- b. Mesurer les concentrations de MES, DBO₅ et P_{total} dans les effluents de la laveuse

Le bilan permet de quantifier l'abattement et les efforts nécessaires à fournir pour atteindre les normes de rejet dans l'environnement.

B. Installer un dessableur

Les sections précédant la laveuse permettaient un abattement des particules de sol s'élevant à 88 % en sol minéral (Généreux et al., 2013).

C. Réduire les volumes d'eau potable

Afin de réduire les dimensions des étapes subséquentes au traitement des eaux de lavage, il est possible et avantageux de réduire les volumes d'eau utilisés pour le lavage des légumes et ce, sans affecter la qualité de ceux-ci. La section 3 présente ces données.

D. Refaire un bilan incluant le dessablage pour connaître les nouvelles caractéristiques des eaux de lavage

E. Bassins de sédimentation hors sol

L'installation de ces bassins permettrait un enlèvement important et une gestion plus facile des particules de sol avant leur entrée dans les lagunes, réduisant ainsi les dimensions de celles-ci et par le fait même les coûts d'entretien qui y sont associés. Les trois projets pilotes présentent des exemples de traitement incluant ces bassins.

F. Centrifugation

Les entreprises dont l'espace pour installer des bassins et/ou des lagunes serait réduit, cette option pourrait être envisagée, quoique dispendieuse. La section 5 présente les essais réalisés pour de l'eau de lavage de carottes cultivées en sol organique.

G. Lagunes

- a. Avec aération pour les entreprises lavant de la betterave rouge ou cultivant en sol organique. Les sections 6 et 7 présentent des exemples de traitement pour ces deux types d'entreprises, respectivement.
- b. Sans aération pour les entreprises cultivant des légumes racines en sol minéral (sans betterave rouge). Se référer à la section 8 pour un exemple de traitement.

3. Réduction de la quantité d'eau potable utilisée

Lors d'une étude de caractérisation des eaux de lavage des légumes racines réalisée en 2009 par la FPMQ et l'IRDA (Hamel et al., 2010), au moins 3,6 litres d'eau potable étaient utilisés en moyenne pour laver 1 kg de légumes (Pelletier et al., 2013). Afin de réduire les coûts de traitement de l'eau de lavage, la quantité d'eau potable utilisée pourrait être abaissée, réduisant ainsi les volumes d'eau à traiter ensuite. Une étude de Moss et al. (2012) a démontré qu'il peut être possible de laver des légumes à l'échelle expérimentale avec un ratio «eau potable / masse de légumes sales» s'approchant de 1. Ainsi, l'objectif des essais réalisés était d'étudier la possibilité de réduire la quantité d'eau potable utilisée en obtenant des légumes aussi propres.

Une chaîne de lavage de légumes a été installée au Laboratoire sur les énergies en agriculture durable (LEAD) situé à Deschambault. La chaîne de lavage comprenait une trémie d'alimentation, un dessableur, un bassin de pré-trempe et une laveuse à baril rotatif d'une longueur de 2,75 m (figure 1). Les essais ont porté sur le lavage de navets et de carottes. Les résultats des essais dans le navet ont permis de démontrer qu'avec un ratio d'eau potable entre 1,5 et 3, les légumes étaient aussi propres, confirmant le fait qu'il est possible de réduire les volumes d'eau sans altérer la qualité des légumes. Les essais dans la carotte ont permis de démontrer que les carottes en sol sableux peuvent être lavées avec un débit d'eau potable réduit, particulièrement avec l'étape du pré-trempe.



Figure 1. Chaîne de lavage expérimentale.

4. Traitement expérimental des eaux de lavage

Les principes de sédimentation et de traitement aérobie par boues activées ont été sélectionnés pour faire la conception de la chaîne de traitement. Cette dernière était composée de cinq bassins d'un mètre cube installés en série, de façon à ce que le trop-plein de chaque unité se déverse dans l'unité suivante (figure 2). Les deux premiers bassins étaient utilisés pour la décantation, le 3^e bassin pour l'aération, et les deux derniers bassins pour la clarification. Le système d'aération installé dans le troisième bassin permet de favoriser l'action bactérienne. Un débit d'air de 9 L/ min a été fourni au troisième bac, correspondant à un taux d'aération de $0,009 \text{ L}_{\text{air}} / \text{L}_{\text{eau}} \cdot \text{min}$.

L'eau de lavage issue des essais de réduction d'eau a été pompée à un débit constant d'environ 18 L/min vers la chaîne de traitement, pour ainsi obtenir un temps de séjour dans la chaîne d'environ 4,6 heures.



Figure 2. Chaîne de traitement des eaux de lavage.

Les résultats ont démontré que l'eau de lavage à l'entrée de la chaîne de traitement respectait les critères choisis de DBO_5 et de P_{total} . Comme la DBO_5 de l'effluent était relativement faible, la chaîne de traitement a eu peu d'impact sur l'abattement de ce paramètre. Puis, même si la concentration de P_{total} respectait les critères choisis à l'entrée de la chaîne, le système de traitement a tout de même permis de réduire les concentrations de près de 50 % dans tous les cas. Enfin, l'impact le plus important de la chaîne de traitement se situait au niveau des MES, permettant un abattement de 82 à 88 %. La cible établie a été atteinte dans tous les cas à la sortie du système. Un exemple d'échantillons pris lors de l'essai 1 démontre l'efficacité du système à abattre les MES (figure 3). Dans les conditions de cet essai et en l'absence pigment rouge, l'aération n'a pas permis un abattement supplémentaire et ne semble pas justifiée.

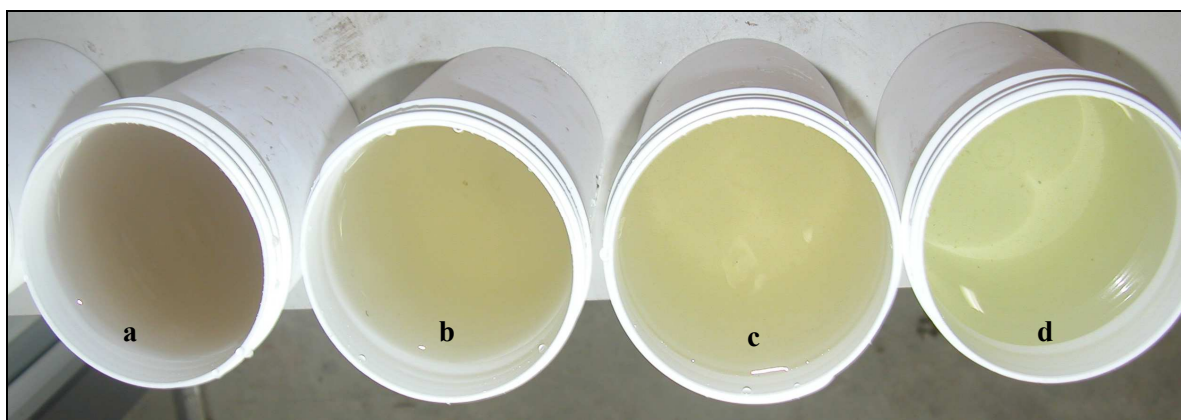


Figure 3. Échantillons d'eau à l'entrée de la chaîne (a), après la décantation (b), après l'aération (c) et à la sortie (d).

5. Essais de centrifugation

Le lavage de légumes racines cultivés en terre noire crée des rejets dont le contenu en DBO₅ est particulièrement riche en raison de la haute teneur en matière organique naturellement présente dans ce type de sol. Le sol organique mis en solution aqueuse ne sédimente pas comme l'argile, le limon ou le sable. L'utilisation unique de bassins de sédimentation ne pourrait donc pas suffire à abattre significativement les paramètres physico-chimiques d'intérêt dans ce projet.

La revue de littérature effectuée dans le cadre des travaux antérieurs de l'équipe a révélé que des séparateurs mécaniques ayant recours à la force centrifuge pouvaient être utilisés dans le traitement des eaux de lavage de légumes (Côté et al., 2011). Par contre, la littérature révélait que ces équipements étaient efficaces lorsque les effluents contenaient un taux de matière sèche supérieur à 5 %. Bien que l'eau de lavage de carottes cultivées en sol organique mesurée dans le cadre des projets antérieurs ait présenté un taux de matières sèches inférieur à cette valeur limite, il semblait intéressant d'étudier le phénomène. Pour ce faire, une centrifugeuse en opération à la ferme expérimentale de l'IRDA à St-Lambert-de-Lauzon (figure 4) a été mise à profit pour étudier les taux d'abattement de plusieurs paramètres dans de l'eau de lavage de carottes prélevée dans une entreprise en Montérégie-Ouest. Trois essais basés sur les travaux de Martin et al. (2006) ont été réalisés à 4 300 tours par minute et les teneurs en MES, DBO₅ et P_{total} ont été mesurées à l'entrée et à la sortie de la centrifugeuse de façon à calculer des taux d'abattement.

Les résultats ont démontré qu'en moyenne, les MES et la DBO₅ étaient abattues de 69 et 14 %, respectivement. Aucun impact n'a été observé pour le P_{total}. La centrifugation peut s'avérer une avenue intéressante, particulièrement quant à l'abattement des MES. Par contre, elle n'a pas permis de rendre l'effluent final conforme aux critères du MDDEFP. Il est probable que cet équipement, utilisé dans des entreprises lavant des produits issus de sols minéraux, présente une efficacité plus importante. Le coût associé à cette technologie est toutefois élevé.



Figure 4. Centrifugeuse utilisée pour les essais dans l'eau de lavage de carottes cultivées en sol organique.

6. Projet pilote – Site 1

L'entreprise de la région de Lanaudière lave des carottes, des panais et des betteraves jaunes et rouges cultivés dans un loam argileux. Les légumes sont lavés dans une laveuse à baril rotatif d'une longueur de 6,1 mètres précédée d'un dessableur de 1,2 mètre. Lors du bilan massique du 27 septembre 2012, le débit d'eau potable utilisé était de 136 L/ min et l'effluent final contenait, en moyenne, 447, 2 228 et 19,08 mg/ L de DBO₅, MES et P_{total}.

L'installation des équipements servant au traitement expérimental de l'eau de lavage s'est effectuée le 3 septembre 2013. Le trop-plein de la dernière unité se déversait dans la lagune présente sur le site. Le système d'aération a été ajusté afin d'aérer la troisième unité à un taux de 0,009 L_{air}/L_{eau}-min. La pompe submersible, installée à l'entrée de la lagune, pompait un débit d'environ 15 L/ min. Le débit d'eau potable utilisé pour laver les légumes étant d'environ 136 L/ min, environ 10 % du débit de rejet réel de l'entreprise a été soumis au traitement expérimental. Deux essais se sont déroulés entre le 10 et le 24 septembre 2013. Les bassins non aérés ont été vidés entre les deux essais.

Les résultats démontrent que les quatre premiers bacs ont une certaine efficacité d'abattement des polluants (tableau 2). Cependant, l'aération dans le bac 3 ne semble pas avoir amélioré l'efficacité d'abattement, remettant en suspension les contaminants. Les analyses de couleur ont démontré qu'un temps de séjour de 36 heures sans nouvelle entrée d'eau était suffisant à l'abattement de ce paramètre. En effet, lorsque le système de traitement était utilisé en continu, le temps de séjour n'était pas suffisant pour faire disparaître le pigment rouge. Par contre, sans nouvelle entrée d'eau durant 36 heures, l'aération permettait la disparition du pigment (figure 5).

Tableau 2. Taux d'abattement des MES, de la DBO₅ et du P_{total} lors des essais au site 1.

Date (2013)	Paramètres	Bac 1 (%)	Bac 2 (%)	Bac 3 (%)	Bac 4 (%)	Bac 5 (%)	Total ¹ (%)
10 septembre	MES	89	66	41	38	0	98
	DBO ₅	0	26	14	17	24	60
	P _{total}	76	45	21	22	0	91
24 septembre	MES	19	20	0	44	0	63
	DBO ₅	0	51	9	26	0	53
	P _{total}	0	10	0	0	1	0

¹Taux d'abattement total du système de traitement par rapport à l'effluent initial



Figure 5. Couleur dans les cinq unités de sédimentation après 36 heures sans nouvelle entrée d'eau. Le bac 3 était aéré en tout temps.

Option de traitement

La chaîne de traitement proposée est composée de bassins de sédimentation hors sol et d'une lagune dont une partie est aérée. La figure 6 présente les schémas des installations existantes ainsi que l'option de traitement.

La première étape du système consiste en une sédimentation dans des bassins étanches hors sol. Cette étape permettrait de sédimenter les particules de sol de plus de 0,01 mm de diamètre (limon fin). Le dimensionnement de ces bassins a été fait selon l'efficacité moyenne de la chaîne de traitement expérimentale. Comme le temps de séjour était de 55 minutes par bac et que l'efficacité optimale a été atteinte à la sortie du bac 4, un temps de séjour correspondant de 220 minutes a été considéré suffisant pour la sédimentation primaire. La capacité nécessaire des bassins de sédimentation, obtenue en multipliant le débit d'eau utilisé (136 L/ min) par le temps de séjour nécessaire (220 min), est égale à 30 m³. Diverses possibilités d'aménagement sont possibles selon la configuration du site. Cependant, afin d'en augmenter l'efficacité, le bassin de sédimentation devrait être séparé en deux pour profiter de l'effet rideau. Deux bassins de 15 m³ pourraient donc être installés en série. Afin d'évacuer les boues au fond des bassins de sédimentation, un système de retrait des boues automatisé devrait être installé. Les boues devraient par la suite être entreposées sur une plate-forme étanche ou dans un bac étanche.

Le trop-plein des bassins de sédimentation hors sol serait ensuite dirigé vers une lagune. Dans le cas du site 1, la lagune existante ayant une capacité totale de 225 m³ serait utilisée. Un mur rideau devrait séparer la lagune aux 2/3. Ainsi, un système d'aération serait installé dans la première partie de la lagune (150 m³) et fournirait un débit d'environ 0,009 L_{air} / L_{eau}-min. En divisant la capacité de la lagune par le débit d'eau utilisé, un temps de séjour de 18,4 heures est obtenu. Cela représente un temps de séjour de 2,3 jours, après avoir divisé le temps de séjour en heures par la durée d'une journée de lavage typique, qui est généralement de 8 heures. Selon les résultats obtenus précédemment, un temps de séjour de 36 heures permet de faire disparaître le pigment de couleur rouge dans l'eau de lavage. Un temps de séjour de 2,3 jours est donc jugé satisfaisant. En effet, en plus d'avoir un impact sur la dégradation du pigment rouge, l'aération favorise l'activité bactérienne, permettant d'abaisser la DBO₅.

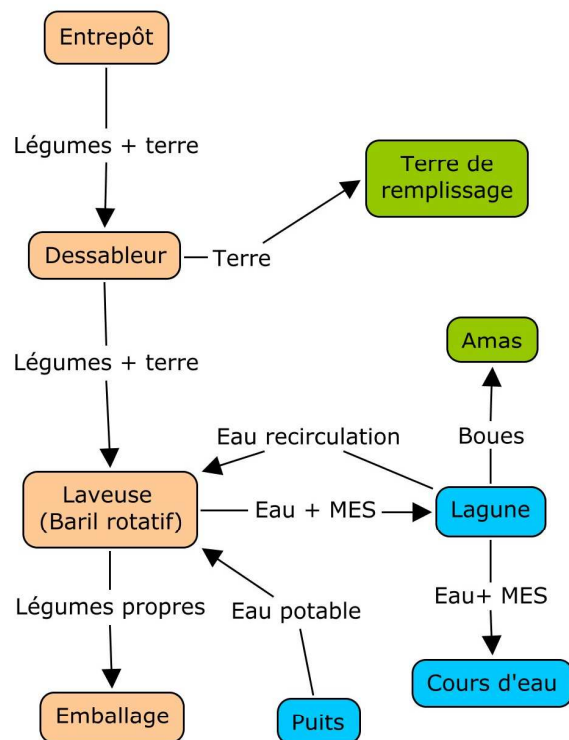
La dernière section de la lagune (75 m³) serait utilisée comme clarificateur et ne serait pas aérée. Elle permettrait ainsi la sédimentation des particules qui n'auraient pas eu le temps de sédimenter dans la lagune aérée. Cette section permettrait d'obtenir un temps de séjour de 1,15 jour supplémentaire. L'efficacité estimée de la solution proposée est présentée au tableau 3 pour les MES, la DBO₅ et le P_{total}. Selon les théories de conception d'un système de traitement par boues activées, la lagune devrait permettre d'abaisser la DBO₅ ainsi que le P_{total} sous les limites de 55 et 2,6 mg/ L, respectivement. Enfin, le temps de séjour total de la lagune de 3,45 jours pourrait permettre d'abattre environ 60 % des particules d'argile résiduelles.

Tableau 3. Efficacité estimée du système de la solution de traitement proposée au site 1.

Paramètres	Effluent initial	Bassins de sédimentation		Lagune	
	Concentration	Abattement	Concentration	Abattement	Concentration
	mg/ L	%	mg/ L	%	mg/ L
MES	2 228	81	423	60	192
DBO₅	447	51	219	> 75	< 55
P_{total}	19	50	9,5	> 73	< 2,6

Site 1

Chaîne actuelle



Option de traitement

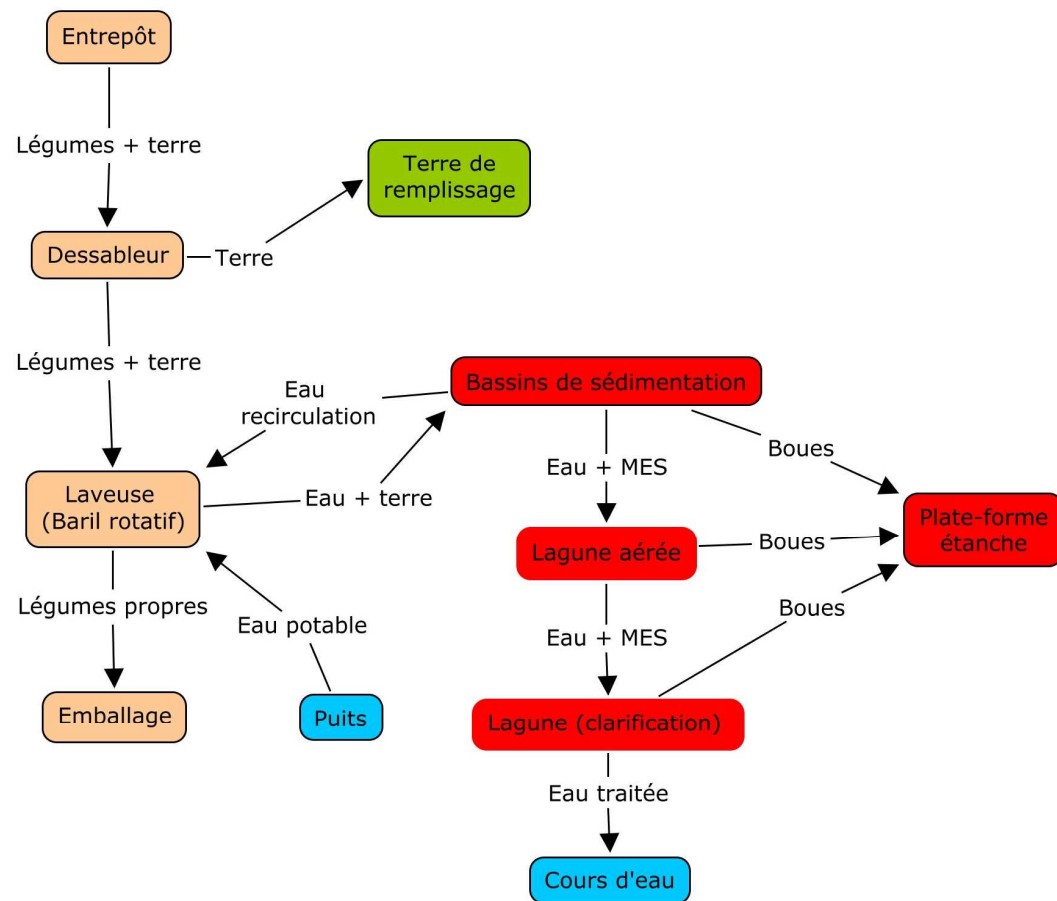


Figure 6. Schéma des installations de lavage actuelles au site 1 ainsi que l'option de traitement.

7. Projet pilote - Site 2

L'entreprise installée en Montérégie-Ouest lave exclusivement de la carotte cultivée en sol organique. La chaîne de lavage inclut des bassins de pré-trempe, une laveuse à baril rotatif d'une longueur de 6,1 mètres, une machine pour broser les légumes et des unités de classement des carottes. Différents types de convoyeurs relient les diverses unités de la ligne de traitement.

Lors du bilan massique effectué le 28 novembre 2012, le débit d'eau potable utilisé au sein de cette entreprise était de 445 L/ min et l'effluent final de lavage contenait en moyenne 260, 1 330 et 4,26 mg/ L en DBO₅, MES et P_{total}, respectivement.

L'installation du système de traitement expérimental a été réalisée le 3 octobre 2013 de façon à ce que l'effluent final de l'usine puisse être pompé vers la chaîne de traitement. Le système d'aération a été installé pour aérer les bassins 2 et 3 à un débit de 4 L_{air}/ min (0,004 L_{air} / L_{eau}-min) chacun. Trois essais ont été effectués où l'eau était pompée à un débit d'environ 15 L/ min. Lors de l'essai 1, les deux premiers bassins ont été remplis et l'aération a été démarrée dans le 2^e bassin pour se poursuivre 24 h/ 24 durant trois jours. Pour les deux autres essais, de l'eau de lavage a été pompée pendant huit heures à chaque fois. Il n'y a ensuite pas eu de nouvelle entrée d'eau afin de mesurer l'efficacité de l'aération et le temps de séjour requis. Des échantillons ont été prélevés dans les trois premiers bacs le lendemain, 3, 4,5 (essai 2) et 5 jours (essai 3) après. L'aération s'est effectuée 24 h/ 24 dans les bacs 2 et 3.

L'abattement des MES, DBO₅ et P_{total} sont présentés au tableau 4. Les résultats démontrent que l'aération est efficace pour abattre la DBO₅, mais qu'un temps de séjour minimal de 3 jours est nécessaire pour atteindre la norme choisie de 55 mg/ L. L'aération prolongée a aussi une influence sur l'abattement des MES, particulièrement pour une durée d'aération de 4,5 et 5 jours. En effet, la teneur en MES dans les bacs non aérés n'atteignait pas la norme visée de 70 mg/ L, comparativement aux bacs aérés. Dans tous les cas, avec ou sans aération, le P_{total} a été abattu rapidement sous la norme de 2,6 mg/ L. Les résultats ont démontré qu'une augmentation du temps de séjour permettait un abattement supplémentaire des MES et la DBO₅ mais n'offrait aucun avantage en ce qui concerne l'abattement du P_{total}.

Tableau 4. Taux d'abattement (%) des différents paramètres selon le bac au site 2.

Paramètres	Temps de séjour									
	3 jours (Essai 1)		4,5 jours (Essai 2)			5 jours (Essai 3)			4,75 jours (Essais 2 et 3 combinés)	
	Bac 1	Bac 2 (aéré)	Bac 1	Bac 2 (aéré)	Bac 3 (aéré)	Bac 1	Bac 2 (aéré)	Bac 3 (aéré)	Bac 1	Bacs aérés
MES	22	46	26	49	54	36	86	69	31	65
P _{total}	3	19	18	5	13	23	17	10	21	11
DBO ₅	17	57	6	79	78	5	80	41	5,5	70

Note. Les taux sont calculés par rapport au contenu des bacs après un temps de séjour d'un jour.

Option de traitement

La chaîne de traitement proposée est composée de bassins de sédimentation hors sol et d'une lagune, dont une partie est aérée. La figure 7 présente le schéma des installations actuelles ainsi que l'option élaborée. La première étape du système consiste en une sédimentation dans des bassins étanches hors sol. Cette étape permettrait de sédimenter les particules de sol de plus de 0,01 mm de diamètre (limon fin). Le dimensionnement de ces bassins s'est fait selon le temps de séjour théorique de 57 minutes, temps nécessaire pour sédimenter les particules de sol plus grosses que le limon moyen ($> 0,02$ mm) sur un mètre de colonne d'eau (Guillou, 2013). Un temps de séjour d'une heure a donc été considéré. La capacité nécessaire des bassins de sédimentation, obtenue en multipliant le débit d'eau utilisé (445 L/min) par le temps de séjour nécessaire (60 min), est égale à 27 m^3 . Diverses possibilités d'aménagement sont possibles selon la configuration du site. Cependant, afin d'en augmenter l'efficacité, le bassin de sédimentation devrait être séparé en deux pour profiter de l'effet rideau. De plus, le bassin devrait avoir une hauteur ne dépassant pas un mètre et sa forme être allongée. Une option serait d'installer en série deux bassins d'une capacité de $13,5 \text{ m}^3$ chacun. Afin d'évacuer les boues au fond des bassins de sédimentation, un système de retrait des boues automatisé devrait être installé. Les boues devraient par la suite être entreposées sur une plate-forme étanche ou dans un bac étanche.

Le trop-plein des bassins de sédimentation hors sol serait ensuite dirigé vers une lagune aérée. En effet, comme un temps d'aération de 3 jours permettrait d'abattre considérablement la DBO_5 , le P_{total} et les MES, la lagune existante (338 m^3) devrait être agrandie pour avoir une capacité de 640 m^3 . Un système d'aération serait installé dans cette lagune avec un taux d'aération minimal de $0,0001 \text{ L}_{\text{air}} / \text{L}_{\text{eau}}\text{-min}$. La deuxième lagune existante (45 m^3) serait utilisée comme clarificateur et ne serait pas aérée. Elle permettrait ainsi la sédimentation des particules qui n'auraient pas eu le temps de sédimenter dans la lagune aérée et ajouterait 1,7 heure supplémentaire de séjour.

L'efficacité estimée de cette solution (option 1) est présentée au tableau 5. Les concentrations dans l'effluent initial proviennent d'analyses effectuées lors du bilan massique réalisé en 2012. L'efficacité du système pourrait cependant être légèrement supérieure avec un temps de séjour supplémentaire à l'étape de clarification, qui n'a pas été considérée pour l'estimation de l'efficacité. Selon les essais, un temps de séjour plus long (entre 4,5 et 5 jours) permettrait un abattement supplémentaire de la DBO_5 et des MES. Cependant, la lagune aérée devrait avoir une capacité d'environ 1000 m^3 (option 2). Les MES pourraient ainsi être abattues à 241 mg/L et la DBO_5 à 56 mg/L . Cependant, cette option occasionnerait des coûts d'investissement beaucoup plus élevés pour un abattement supplémentaire relativement faible par rapport à l'option 1. De plus, l'efficacité d'abattement du P_{total} ne serait pas augmentée.

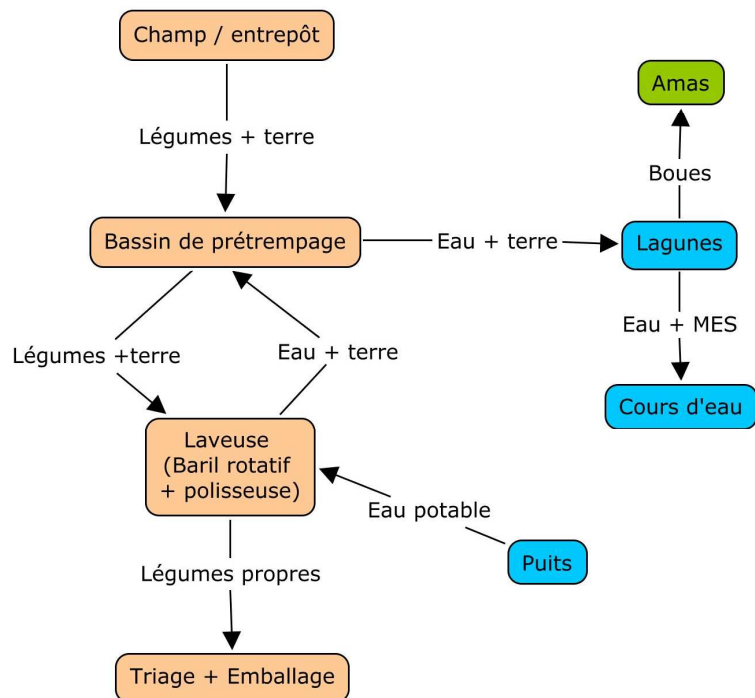
Tableau 5. Efficacité estimée du système de la solution de traitement proposée au site 2.

Paramètres	Effluent initial	Bassins hors sol		Lagune aérée (option 1) 640 m^3 (t.s. 3 jours)		Lagune aérée (option 2) $1\,000 \text{ m}^3$ (t.s. 4,75 jours)	
	[]	Abatt.	[]	Abatt.	[]	Abatt.	[]
	mg/ L	%	mg/ L	%	mg/ L	%	mg/ L
MES	1 330	10	1 197	73	359	82	241
DBO_5	260	0	260	70	78	78	56
P_{total}	4,26	0	4,26	42	2,47	36	2,72

Notes. t.s. : Temps de séjour; Abatt. : Abattement; [] : Concentration

Site 2

Chaîne actuelle



Option de traitement

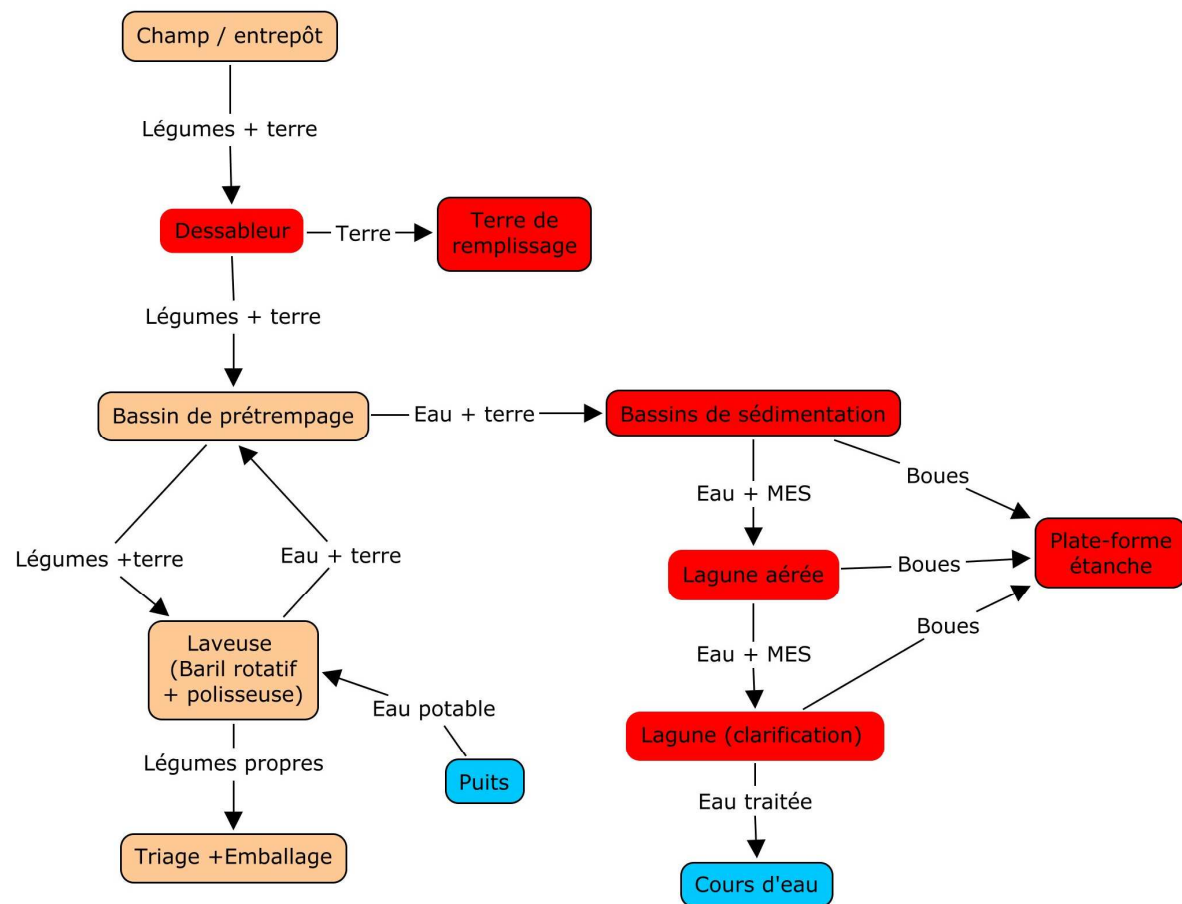


Figure 7. Schéma des installations de lavage actuelles au site 2 ainsi que l'option de traitement.

L'efficacité d'un dessableur au début de la chaîne de lavage a également été évaluée à partir des résultats des essais antérieurs. Ainsi, environ 45 % des particules de sol pourraient être enlevées par le dessableur. Cela se répercuterait sur le contenu de l'effluent initial et sur chacun des paramètres. Les MES et la DBO₅ pourraient ainsi être abaissées à 197 et 38 mg/ L avec la lagune aérée de 640 m³, respectivement. L'agrandissement de la lagune à 1000 m³ ne serait donc pas nécessaire pour atteindre la norme de 55 mg/ L en DBO₅.

Tableau 6. Efficacité estimée du système de la solution de traitement proposée au site 2 (avec dessableur).

Paramètres	Effluent initial	Bassins de sédimentation		Lagune aérée (option 1) 640 m ³ (t.s. 3 jours)		Lagune aérée (option 2) 1 000 m ³ (t.s. 4,75 jours)	
	[]	Abatt.	[]	Abatt.	[]	Abatt.	[]
	mg/ L	%	mg/ L	%	mg/ L	%	mg/ L
MES	731	10	658	73	197	82	131
DBO ₅	128	0	128	70	38	78	28
P _{total}	2,8	0	2,8	42	1,624	36	1,72

Notes. t.s. : Temps de séjour; Abatt. : Abattement; [] : Concentration

8. Projet pilote - Site 3

L'entreprise, située dans la région de la Capitale-Nationale, lave des panais et des carottes cultivés dans un loam argileux. Lors du bilan massique du 13 septembre 2012, les opérations de lavage des légumes étaient conduites avec une laveuse à baril rotatif équipée d'un hydrocyclone permettant de retirer une fraction solide de l'eau de lavage qui est réutilisée dans la laveuse. Le débit d'eau potable utilisé lors de ce bilan était de 82,3 L/ min et l'effluent final du lavage contenait, en moyenne, 234, 1 976 et 3,23 mg/ L de DBO₅, MES et P_{total}. Un nouveau système de lavage a été mis en place en 2013. Un dessableur et un dépierrreur ont été ajoutés à la chaîne de lavage. De plus, la laveuse à baril rotatif a été remplacée par une laveuse polisseuse.

L'installation des équipements servant au traitement expérimental de l'eau de lavage s'est effectuée le 23 octobre 2013. Une pompe submersible, installée dans le petit réservoir surmonté d'une plaque perforée sous la polisseuse pompait de l'eau de lavage dans le premier bac à un débit d'environ 19 L/ min, ce qui représente environ 23 % du débit de rejet réel de l'entreprise. Le trop-plein du dernier bac se déversait dans la fosse septique du producteur. Dès le 25 octobre, le producteur faisait fonctionner la pompe alimentant le système de traitement en continu lorsque des légumes étaient lavés.

Deux essais ont été menés. Le premier s'est déroulé du 25 au 30 octobre et visait à évaluer l'efficacité du système de traitement fonctionnant en continu sans aération. Deux séries d'échantillons (l'effluent à la sortie de la chaîne de lavage et la sortie de chaque bac) ont été prélevées. Chaque échantillonnage a été réalisé après que le système ait fonctionné pendant au moins 4h20, représentant le temps de séjour dans le système lorsque ce dernier fonctionne en continu. Le deuxième essai a débuté à la suite du 2^e échantillonnage. Le système d'aération a été installé afin d'aérer en continu les bacs 2 et 3 à un taux de 0,004 L_{air}/ L_{eau}-min chacun. Cet essai s'est déroulé du 30 octobre au 8 novembre et trois séries d'échantillons ont été prélevées et analysées.

Les taux d'abattement dans chaque bac et le taux d'abattement total du système de traitement pour les MES, la DBO₅ et le P_{total} sont présentés au tableau 7. Ces résultats démontrent que chaque bac a une certaine efficacité d'abattement. Au total, la chaîne de traitement permet d'abattre les MES de 78 et 93 %, la DBO₅ de 6 et 64 % et le P_{total} de 54 et 77 %. Malgré cela, la concentration en MES à la sortie du système n'atteint pas la limite visée de 70 mg/ L. La concentration en P_{total} est sous la limite de 2,6 mg/ L dans les deux cas et la DBO₅ est abaissée sous la limite de 55 mg/ L à la première date d'échantillonnage.

Tableau 7. Taux d'abattement de chaque bac lors de l'essai 1 au site 3.

Date (2013)	Paramètres	Bac 1 (%)	Bac 2 (%)	Bac 3 (%)	Bac 4 (%)	Bac 5 (%)	Total ¹ (%)
28 octobre	MES	31	44	48	46	34	93
	DBO ₅	48	3	11	0	24	64
	P _{total}	15	24	36	33	18	77
30 octobre	MES	29	44	15	19	18	78
	DBO ₅	0	0	6	20	16	6
	P _{total}	18	21	4	10	17	54

¹ Taux d'abattement total du système de traitement par rapport à l'effluent initial

Les taux d'abattement dans chaque bac et le taux d'abattement total du système de traitement pour les MES, la DBO₅ et le P_{total} sont présentés au tableau 8. En comparant les taux d'abattement des deux essais, l'aération ajoutée aux bacs 2 et 3 lors de l'essai 2 ne semble pas avoir augmenté l'efficacité du système de traitement. En effet, les abattements les plus importants ont été atteints lors de l'essai 1. De plus, les deux essais permettaient d'atteindre les limites de 55 mg/ L de DBO₅ et 2,6 mg/ L de P_{total} pour la plupart des échantillonnages. Cependant, les MES ne sont jamais abaissées sous les 70 mg/ L.

Tableau 8. Taux d'abattement de chaque bac lors de l'essai 2 au site 3.

Date (2013)	Paramètres	Bac 1 (%)	Bac 2 (%)	Bac 3 (%)	Bac 4 (%)	Bac 5 (%)	Total ¹ (%)
1 ^{er} novembre	MES	0	14	3	0	0	7
	DBO ₅	0	12	0	12	4	15
	P _{total}	0	0	3	0	0	0
6 novembre	MES	0	35	22	2	9	44
	DBO ₅	0	3	14	3	15	28
	P _{total}	0	14	6	4	0	22
8 novembre	MES	12	4	11	6	20	43
	DBO ₅	0	0	7	11	10	25
	P _{total}	2	0	12	9	13	33

¹ Taux d'abattement total du système de traitement par rapport à l'effluent initial

Option de traitement

À partir des résultats obtenus, une option de traitement à l'échelle réelle pour le site pilote 3 a été élaborée. Ainsi, pour tout site de lavage de légumes racines dont les caractéristiques sont semblables à celles du site 3 (légumes cultivés en sol minéral, sans pigmentation de betterave), une solution semblable pourrait être adaptée. La chaîne de traitement proposée est composée de bassins de sédimentation hors sol et de lagunes non aérées. Comme l'aération n'a pas semblé augmenter l'efficacité de la chaîne de traitement lors des essais expérimentaux, l'option de traitement sera donc basée uniquement sur le principe de sédimentation. La figure 8 présente le schéma des installations actuelles ainsi que l'option élaborée.

La première étape du système consiste en une sédimentation primaire dans des bassins étanches hors sol. Cette étape permettrait de sédimenter les particules de plus de 0,01 mm de diamètre (limon fin). Le dimensionnement de ces bassins s'est fait selon l'efficacité moyenne de la chaîne de traitement expérimentale. Comme le temps de séjour dans la chaîne de traitement était de 4h20, un temps de séjour correspondant a été considéré suffisant pour la sédimentation primaire dans les bassins hors sol. La capacité nécessaire des bassins de sédimentation, obtenue en multipliant le débit d'eau utilisé (82 L/min) par le temps de séjour nécessaire (263 min), est égale à environ 22 m³. Diverses possibilités d'aménagement sont possibles selon la configuration du site. Cependant, afin d'en augmenter l'efficacité, le bassin de sédimentation devrait être séparé en deux pour profiter de l'effet rideau. Deux bassins de 11 m³ chacun pourraient donc être installés en série. Afin d'évacuer les boues au fond des bassins de sédimentation, un système de retrait des boues automatisé devrait être installé. Les boues devraient par la suite être entreposées sur une plate-forme étanche ou dans un bac étanche.

Le trop plein des bassins de sédimentation hors sol serait ensuite dirigé vers une lagune. Dans le cas du site pilote 3, la lagune existante d'une capacité de 108 m³ pourrait être utilisée. En divisant la capacité de la lagune par le débit d'eau utilisé, un temps de séjour de 22 heures est obtenu. Cela représente un temps de séjour de 2,7 jours, après avoir divisé le temps de séjour en heures par la durée d'une journée de lavage typique, qui est généralement de 8 heures.

La deuxième lagune existante de 30 m³ serait utilisée comme clarificateur. Elle permettrait ainsi d'obtenir un temps de séjour supplémentaire de 6 heures, pour un temps de séjour total de 3,5 jours dans les deux lagunes.

L'efficacité estimée de la solution proposée est présentée au tableau 9 pour les MES, la DBO₅ et le P_{total}. Les caractéristiques de l'effluent initial sont les concentrations moyennes mesurées lors de chaque essai. Les pourcentages d'abattement moyens du système de traitement des cinq séries d'échantillonnage ont été utilisés pour calculer l'efficacité des bassins de sédimentation et la concentration de chaque paramètre à leur sortie.

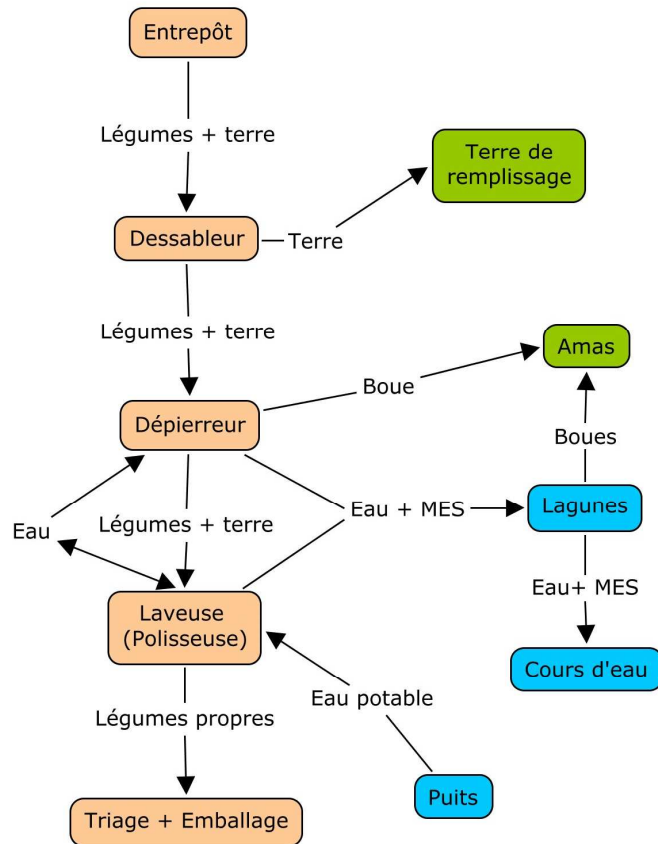
L'efficacité de la lagune a été estimée. Selon les théories de conception d'un système de traitement par boues activées, la lagune devrait permettre d'abaisser la DBO₅ ainsi que le P_{total}. Enfin, le temps de séjour total de la lagune de 3,5 jours pourrait permettre d'abattre environ 60 % des particules d'argile résiduelles dans l'eau de lavage. La solution proposée au site 3 pourrait donc permettre d'abattre les MES de 1 330 à 250 mg/L, la DBO₅ de 73 à moins de 53 mg/L et le P_{total} de 2,81 à moins de 1,77 mg/L.

Tableau 9. Efficacité estimée du système de la solution de traitement proposée au site 3.

Paramètres	Effluent initial	Bassins hors sol		Lagunes	
	Concentration mg/ L	Abattement %	Concentration mg/ L	Abattement %	Concentration mg/ L
MES	1 330	53	625	60	250
DBO₅	73	28	53	--	< 53
P_{total}	2,81	37	1,77	--	< 1,77

Site 3

Chaîne actuelle



Option de traitement

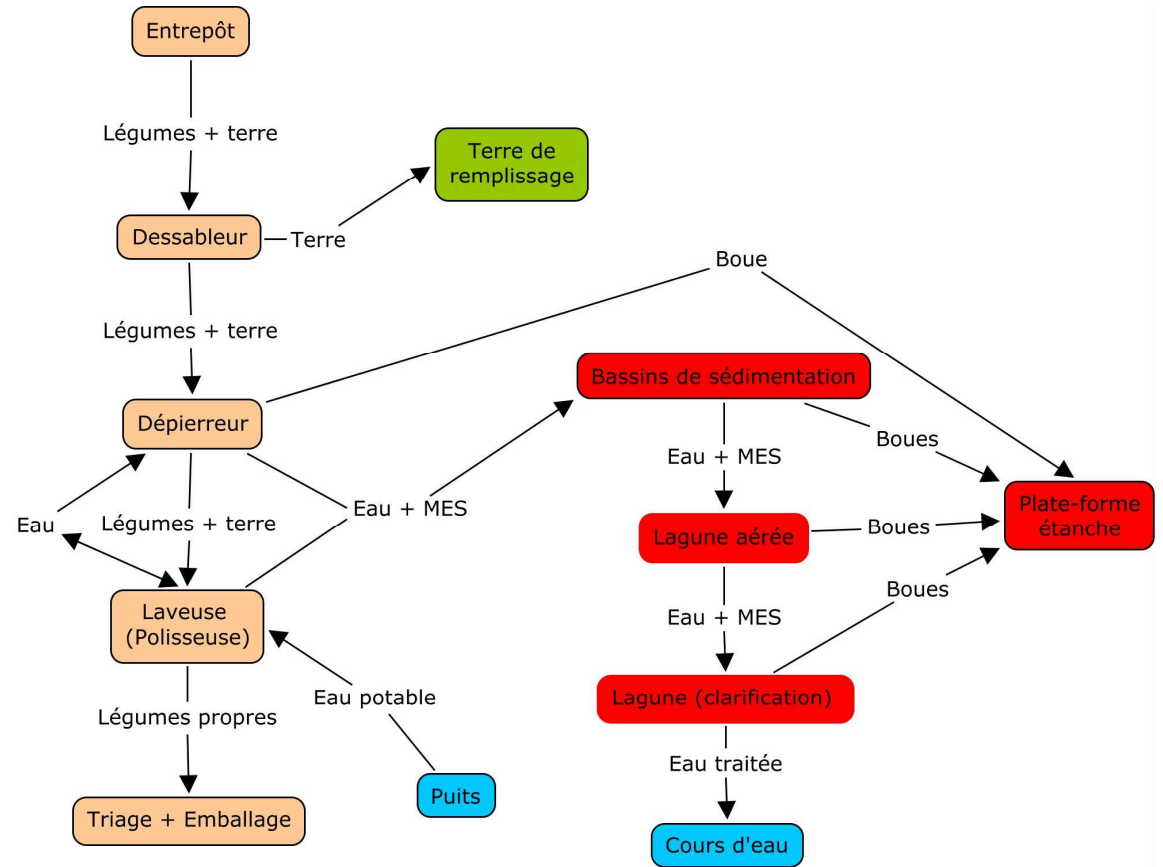


Figure 8. Schéma des installations de lavage actuelles au site 3 ainsi que l'option de traitement

9. Analyse des coûts d'abattement

Il est connu, de la littérature économique, que la réduction de la pollution est considérée comme soumise aux mêmes forces que tout autre marché, c'est-à-dire en fonction d'une demande et d'une offre de réduction de la pollution (Randall 1987, Perman et al. 1996). Aussi, un prix d'équilibre peut être découvert lorsque cette demande et cette offre s'égalisent, tel qu'il est illustré à la figure 9.

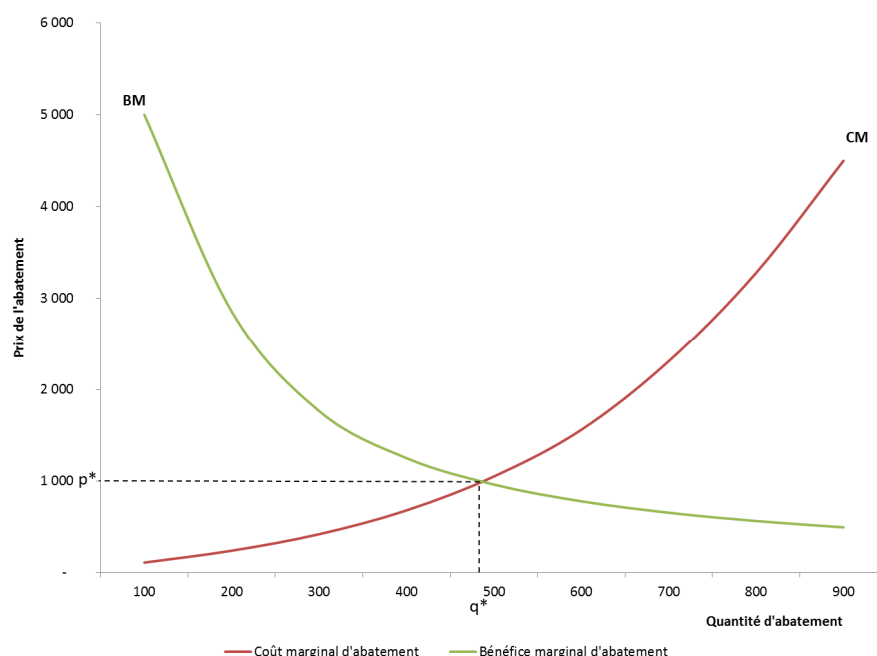


Figure 9. Bénéfices et coûts d'abattement marginaux de la pollution

Cette illustration montre à quoi s'attendre, sur une base théorique, en matière d'évolution des coûts et des bénéfices associés à la réduction de la pollution. La demande pour la réduction de la pollution est illustrée par la courbe des bénéfices marginaux (BM) et l'offre de réduction l'est par la courbe des coûts marginaux (CM). La courbe des BM décroissante illustre le fait que les bénéfices retirés à réduire les premières unités de pollution sont plus grands que pour les dernières unités, car le risque de dommage public (ex. : risque sur la santé publique) décroît au fur et à mesure de la dépollution. Inversement, la courbe croissante des CM illustre le fait qu'il est plus difficile et plus coûteux pour les entreprises de réduire les dernières unités de pollution que les premières. La convexité des deux courbes illustre le principe théorique que les BM et les CM varient de façon non-linéaire. Enfin, le prix $p^* = 1\,000$ illustre le prix d'équilibre et la quantité $q^* \approx 500$, la quantité d'équilibre.

Dans ce projet, l'objectif de l'analyse économique était de vérifier si le traitement des eaux de lavage suivait le patron des CM illustré dans la figure 9. Cette question est importante car si elle se vérifiait, les investissements nécessaires à l'abattement des dernières unités de contaminants exigeraient des coûts d'investissement reliés à la dépollution qui seraient plus élevés en raison des procédés et des équipements supplémentaires pour réduire les unités incrémentielles de contaminants. Or, il est important pour les producteurs, comme tous les intervenants, de connaître comment évoluent les coûts d'abattement marginaux en fonction des différents traitements proposés et les équipements qui y sont associés.

Méthode et résultats

Dans la chaîne de conditionnement des légumes que l'on peut retrouver sur une entreprise maraîchère, les contaminants pouvant se retrouver dans les eaux de lavage sont retirés lors de trois principales étapes. En premier lieu, on retrouve des équipements de dessablage par où passent les légumes avant l'étape du lavage et où certains contaminants sont retirés avec la terre qui est amassée à cette étape. Ensuite, les légumes subissent l'intervention du lavage en soit et c'est à cette étape que les contaminants attachés aux particules de sol qui persistent sur les légumes vont se mélanger à l'eau de lavage. Cette eau est alors dirigée vers des bassins de sédimentation (étape « sédimentation ») pour ensuite être rejetée vers des lagunes (étape « lagune »).

Les coûts d'abattement marginaux des contaminants peuvent donc être compilés et analysés selon ces trois étapes de réduction des contaminants. Pour y arriver, le phosphore (P) a été choisi comme le contaminant de base à chaque étape. En effet, contrairement au P, les matières en suspension (MES) et la DBO₅ ne peuvent être comparées aux trois étapes car elles ne sont pas présentes au dessablage. Sur la base de la production de légumes annuelle de chaque site ainsi que le sol retiré au dessablage et l'eau utilisée au lavage, il est possible de compiler les quantités d'abattement de P à chaque étape. Ces quantités sont présentées au tableau 10.

Tableau 10. Abattement annuel du phosphore par site d'essai et par étape de conditionnement des légumes

Information sur l'abattement	Site 1	Site 2	Site 3
Analyses du sol en P _{total} récupéré au dessablage (mg/ kg sol)	136,75	304,00	68,73
Abattement en P au dessablage (kg/ an) ^a	12,85	N/A	0,59
Abattement en P au bassin de sédimentation (mg/ L)	9,50	0	1,04
Abattement en P au bassin de sédimentation (kg/ an) ^b	57,01	0	5,38
Abattement en P à la lagune (mg/ L)	6,90	1,79	0
Abattement en P à la lagune (kg/ an)	41,41	43,65	0

- La quantité de sol prélevée annuellement au dessablage se base sur les données du bilan de masse et des volumes de production de légumes annuels tels que déclarés par les producteurs. Dans le souci de préserver la confidentialité des données de production, le calcul complet n'est pas présenté dans ce tableau.
- L'eau de lavage utilisée annuellement est calculée sur la base des volumes de production de légumes annuels tels que déclarés par les producteurs. Dans le souci de préserver la confidentialité des données de production, le calcul complet n'est pas présenté dans ce tableau.

Les résultats montrent que lorsque l'on examine ceux des sites 1 et 3, l'efficacité d'abattement du P pourrait être cinq à dix fois plus grande à la sédimentation en bassin, comparativement à l'abattement au dessablage. En observant ensuite les résultats d'abattement du P en lagune pour le site 1, l'efficacité d'abattement y diminue par rapport à l'étape des bassins de sédimentation, alors que l'abattement en lagune est de moins de 75 % celui en bassin de sédimentation.

Ces résultats sont relativement révélateurs de l'ordre des investissements qui devraient être faits sur la seule base de l'abattement en P. Ainsi, l'essentiel de ces investissements devraient porter sur l'étape de la sédimentation en bassin. Cela ne veut pas dire qu'il ne faille pas investir à l'étape de dessablage. Cependant, toute proportion gardée, l'investissement au dessablage devrait être relativement limité si un producteur a seulement à l'esprit le coût marginal d'abattement en P à chaque étape de la chaîne.

L'option de traitement présentée à la section 6 peut être utilisée pour illustrer la situation. On sait que cette option préconise, en plus du dessablage, l'utilisation de deux bassins de sédimentation entre l'étape de lavage et du rejet des eaux de lavage vers la lagune. Selon différentes sources d'information consultées, on peut supposer alors un investissement de 15 000 \$ aux bassins de sédimentation et de 20 000 \$ à l'étape de la lagune. Le montant associé aux bassins de sédimentation inclut les bassins en soit ainsi qu'un système pour en retirer les sédiments de même qu'une pompe pour transporter l'eau de la laveuse aux bassins. Pour ce qui est de l'investissement à la lagune, celui-ci consiste essentiellement au coût d'acquisition d'un aérateur. L'amortissement associé aux bassins est établi à 15 ans tandis que celui relatif à l'aérateur de la lagune est de 20 ans. Finalement, un coût annuel de 1 000 \$ est ajouté pour l'entretien de la lagune, en supposons des travaux de reprofilage qui dureraient environ une journée à 150 \$/heure. Ces données de base sont reportées dans le tableau 11 et elles servent au calcul du coût d'acquisition maximal d'un dessableur.

Tableau 11. Calcul du coût d'acquisition optimal d'un dessableur sur la base de l'efficacité d'abattement.

Équipement/infrastructure	Coût d'acquisition	Amortissement annuel	Autre coût annuel	Total des coûts annuels	Abattement P (kg/an)	Coût d'abattement (\$/kg P)
Pompe	5 000 \$	500 \$		500 \$		
Bassin de sédimentation 1	5 000 \$	333 \$		333 \$	57,01	5,85 \$
Bassin de sédimentation 2	5 000 \$	333 \$		333 \$	57,01	5,85 \$
Lagune (aérateur)	20 000 \$	1 000 \$	1 000 \$	2 000 \$	41,41	48,30 \$
Total				3 167 \$	155,43	20,37 \$

Ce coût d'acquisition se fonde sur un coût d'abattement qui serait le même au dessablage que lors des étapes en post-lavage. Ainsi, le coût d'abattement du P en post-lavage est d'un peu plus de 20,00 \$/ kg P. En considérant une période d'amortissement de 15 ans et un abattement annuel du P au dessablage de 12,85 kg, le coût d'acquisition maximal pour un dessableur s'élèverait à pratiquement 4 000 \$¹. Ici, les coûts d'énergie ne sont pas inclus, car ils étaient d'abord jugés comme relativement peu importants en plus d'être difficiles à estimer pour chaque étape individuellement. Dans le même ordre d'idée, les coûts liés à la gestion du sol issu du dessablage, ainsi que des boues dans les bassins de sédimentation n'ont pas été considérés. La gestion des boues dans les bassins et les lagunes est toutefois plus complexe et coûteuse que la gestion du sol sec, renforçant l'idée d'optimiser les étapes du lavage en phases sèches.

Ces résultats signifient donc que pour une entreprise maraîchère du type du site 1, avec la même option de traitement, les mêmes données de production et la même efficacité d'abattement, l'investissement dans un dessableur devrait se limiter à environ 4 000 \$. Relativement aux références obtenues sur le coût d'acquisition moyen d'un dessableur, ce montant est peu élevé, car le coût d'un dessableur se situerait plutôt entre 7 000 \$ et 15 000 \$ selon ses dimensions et ses caractéristiques.

¹ (20,37 \$/kg P * 12,85 kg P/an) * 15 ans = 3 926 \$

10. Conclusions

Ce projet a permis de préciser des options de traitement de l'eau issue du lavage des légumes racines, en se basant sur trois cas réels représentant 1) le lavage à la ferme de légumes racines, incluant la betterave, produits en terre minérale; 2) le lavage de légumes racines issus de plusieurs sites de production en terre noire; 3) le lavage à la ferme de légumes racines produits en terre minérale.

Il permettra de guider les producteurs agricoles dans le choix des interventions à mettre en place pour pouvoir procéder au rejet au cours d'eau des eaux issues du lavage des légumes racines. Étant donnée la très grande variabilité entre les sites, les solutions émises dans ce document doivent être considérées comme des exemples et servir de bases de réflexion lors d'éventuels changements à une chaîne de lavage des légumes racines.

Les recommandations issues de ces travaux sont :

- 1) Chaque entreprise devrait connaître les caractéristiques des eaux issues du lavage des légumes de façon à définir les efforts nécessaires à fournir quant à l'abattement des paramètres considérés par le MDDEFP pour le rejet dans l'environnement.
- 2) Le dessablage à sec devrait être favorisé dans la majorité des entreprises afin de faciliter la manutention des solides extraits, de réduire la quantité d'eau requise pour le lavage et de diminuer la dimension des bassins de sédimentation ou aérés. L'investissement relié à ce dernier doit toutefois tenir compte de plusieurs paramètres dont l'espace disponible dans l'entreprise pour en faire l'installation, ainsi que l'efficacité d'abattement des contaminants tels que le phosphore.
- 3) Les volumes d'eau potables utilisés devraient être diminués, soit en réduisant les débits, soit en favorisant une plus grande recirculation de l'eau dans la première partie de la laveuse. Il ne faut pas oublier que le dernier rinçage des légumes doit se faire avec de l'eau de qualité potable.
- 4) En terre minérale, la sédimentation des effluents permet d'abattre les contaminants à des niveaux acceptables pour le rejet dans l'environnement. Une sédimentation primaire en bassins étanches hors sol permet de réduire le volume requis des lagunes creusées en plein sol et ainsi de réduire les superficies et l'entretien nécessaires. L'efficacité des bassins est accrue s'ils sont séparés en deux afin de bénéficier de l'effet rideau.
- 5) Le traitement du pigment de la betterave nécessite une étape de traitement en bassin aéré.
- 6) En terre noire, la sédimentation et la centrifugation sont peu efficaces pour abattre la majorité des contaminants puisque ceux-ci sont sous des formes solubles. Afin d'éviter l'ajout de coagulants, le séjour en lagune aérée est approprié. Celle-ci devrait être précédée d'une sédimentation primaire en bassins hors sol afin de retirer les particules minérales et les particules organiques rapidement sédimentables. L'ajout d'un dessableur permettra de réduire le volume du bassin aéré, ce qui contribuera à diminuer les superficies occupées, les coûts d'entretien et la puissance de l'aérateur.

Afin d'assurer la pérennité du projet, le comité regroupant des producteurs agricoles et des intervenants du MAPAQ, du MDDEFP, de l'APMQ et de l'IRDA continuera d'être actif et assurera la communication entre les intervenants afin de proposer des solutions applicables pour le producteur agricole tout en répondant aux critères environnementaux.

La mise en place des interventions à la ferme permettra de valider l'efficacité et l'applicabilité des pratiques sur une base quotidienne et prolongée. Ainsi, il sera nécessaire d'acquérir et adapter des installations pour assurer, par exemple, le pompage de l'eau sortant de la laveuse vers les bassins de sédimentation primaire, la protection contre le gel de celles-ci, le procédé de vidange des solides sédimentés dans les bassins hors sol, ainsi que la méthode d'aération des lagunes.

Références

- 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.
- Côté, C., M. Généreux, S. Godbout et F. Pelletier. 2011. Gestion environnementale de l'eau en production maraîchère – Analyse et revue de littérature sur la gestion des eaux de lavage des légumes-racines. IRDA. 25 pages.
- Evupaleau. 2004. Systèmes d'épuration de petites tailles. Belgique. 44 pages.
- Généreux, M., J.P. Larouche, C. Côté, A. Ramirez, F. Pelletier, S. Godbout, M. Béliveau Simoneau, S. Karasira. 2013. Propositions de solutions intégrées pour une gestion durable des eaux de lavage de légumes. IRDA, 52 pages.
- Guillou, M. 2013. Fiche technique – Bassin de stockage et sédimentation : Concept et dimensionnement. MAPAQ. 16 pages.
- Hamel, C., M. Généreux et C. Côté. 2010. Gestion environnementale de l'eau en production maraîchère : Phase 1. Rapport final de projet 1er mars 2009 – 31 mars 2010. Fédération des producteurs maraîchers du Québec (FPMQ). 17 pages et annexes.
- Kern, J., W. Reimann et O. Schluter. 2006. Treatment of recycled carrot washing water. *Environmental Technology* 27: 459-466.
- Martin, D.-Y., F. Léveillé, C. Landry, R. Carrier. 2006. Installation et essais à la ferme d'un système de separation solide-liquide du lisier de porc complémenté par la stabilisation et l'entreposage de la fraction solide. Rapport final de projet CORPAQ # 703015, 100 pages.
- MDDEFP. 2012. Guide pour l'étude des technologies conventionnelles de traitement des eaux usées d'origine domestique. Direction des politiques du secteur municipal – Service de l'expertise technique en eau. Accessible au : <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/domestique/index.htm>.
- Moletta, R. 2006. Gestion des problèmes environnementaux dans les industries agroalimentaires. Éditions : Techniques et Documentation, Paris. 720 pages.
- Moss, J. A., D. D. Steele et D. C. Kirkpatrick. 2002. Small-Scall Mechanical Carrot washer for Research Sample Preparation. *Applied Engineering in Agriculture*, Vol. 18 (2); 235-241.
- Pelletier, F., S. Godbout, C. Côté, M. Généreux, J.-P. Larouche, M. Girard et M. Belzile. 2013. Predicting wash water characteristics produced by root crop washing processes. Présenté au Congrès annuel 2013 de la CSBE|SCGAB à Saskatoon, 7 au 10 juillet 2013. 9 pages.
- Perman, R., Y. Ma et J. McGilvrey. 1996. *Natural Resource & Environmental Economics*. Addison Wesley Longman Limited. 396 p.
- Randall, A. 1987 *Resource Economics. An Economic Approach to Natural Resource and Environmental Policy. Second Edition*. John Wiley & Son. 434 p.
- Reith, C., B. Birkenhead. 1998. Membranes enabling the affordable and cost effective reuse of wastewater as an alternative water source. *Desalination* 117: 203-210.
- Safe Drinking Water Foundation. 2010. WasterWater Treatment. [En ligne], page consultée 11 juin 2013, lien web : <http://www.safewater.org/images/WastewaterTreatment.pdf>.