



PCAA

Programme canadien d'adaptation agricole

Rapport final

PROPOSITION DE SOLUTIONS INTÉGRÉES POUR UNE GESTION DURABLE DES EAUX DE LAVAGE
DE LÉGUMES

Projet # 6531

FEDERATION DES PRODUCTEURS MARAICHERS DU QUEBEC
&
CONSEIL QUEBECOIS DE L'HORTICULTURE

FÉVRIER 2011 À JANVIER 2013

Rédigé par :
MYLENE GENEUX, M.Sc., IRDA
JEAN-PIERRE LAROUCHE, chimiste, IRDA
CAROLINE COTE, agr., Ph.D, IRDA
ANTONIO AVALOS RAMIREZ, ing. jr., IRDA
FRÉDÉRIC PELLETIER, ing., M.Sc., IRDA
STÉPHANE GODBOUT, ing., agr., IRDA
MARILINE BÉLIVEAU SIMONEAU, IRDA
SYLVIE KARASIRA, agr., M.Sc., FPMQ

4 février 2013

ÉQUIPE DE RÉALISATION DU PROJET

RÉPONDANTS ET RESPONSABLES SCIENTIFIQUES

Caroline Côté, agr., Ph.D, IRDA

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

CHARGÉS DE PROJET

Sébastien Brossard, agr., CQH

Mylène Généreux, M.Sc. IRDA

Claude Hamel, M.Sc., FPMQ

Sylvie Karasira, M.Sc., FPMQ

Frédéric Pelletier, ing., M.Sc., IRDA

COLLABORATEURS

Mariline Béliveau Simoneau, IRDA

Jean-Pierre Larouche, chimiste, IRDA

Lise Potvin, IRDA

Antonio Avalos Ramirez, ing. jr, IRDA

Producteurs maraîchers, FPMQ

TABLE DES MATIÈRES

1. OBJECTIFS	7
1.1. Objectif général	8
1.2. Objectifs spécifiques	8
2. RÉSULTATS ET ANALYSE	8
2.1. Résultats obtenus et analyse	8
2.1.1. Bilans massiques	8
2.1.1.1. Entreprise A : Lavage de carottes en sol minéral.....	9
2.1.1.2. Entreprise B : Lavage de carottes en sol minéral.....	13
2.1.1.3. Entreprise C : Lavage de betteraves en sol minéral.....	19
2.1.1.4. Entreprise D : Lavage de carottes en sol organique.....	23
2.1.1.5. Tableaux récapitulatifs	29
2.1.1.6. Dessableur expérimental.....	31
2.1.2. Sédimentation	34
2.1.3. Traitement de la couleur par aération	37
2.1.3.1. Essais en laboratoire à partir du jus de betteraves et de la bétanine	38
2.1.3.2. Essais en bassins de 1000 litres.....	42
2.2. Diffusion des résultats	51
3. CONCLUSIONS	52
4. SOMMAIRE DES ACCOMPLISSEMENTS DU PROJET	52
5. PLAN DE FINANCEMENT ET CONCILIATION DES DÉPENSES.....	52

Annexes :

A. Compte rendu de la rencontre 1 du comité de travail

B. Documents de diffusion et articles

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Bilan du 15 novembre 2011 à l'entreprise A.	12
Tableau 2 : Analyse des eaux de lavage acheminées au bassin de décantation.....	12
Tableau 3 : Analyse des échantillons de terre séparée des carottes.....	13
Tableau 4 : Bilan du 13 septembre 2012 à l'entreprise B.....	16
Tableau 5 : Analyse des eaux évacuées de la laveuse.....	17
Tableau 6 : Analyse des eaux à la sortie de l'hydrocyclone.....	17
Tableau 7 : Analyse des eaux de lavage rejetées à la lagune.....	18
Tableau 8 : Analyse de l'eau potable et des eaux boueuses évacuées par l'hydrocyclone.....	18
Tableau 9 : Analyse des échantillons de terre séparée des carottes.....	19
Tableau 10 : Bilan du 27 septembre 2012 à l'entreprise C.....	22
Tableau 11 : Analyse de l'eau potable et des eaux de lavage rejetées à la lagune.....	22
Tableau 12 : Analyse des échantillons de terre séparée des betteraves.....	23
Tableau 13 : Bilan du 28 novembre 2012 à l'entreprise D.....	26
Tableau 14 : Analyse des eaux de lavage rejetées à la lagune.....	27
Tableau 15 : Analyse des eaux de lavage évacuées sous la laveuse.....	28
Tableau 16 : Analyse des échantillons de sol séparé des carottes.....	29
Tableau 17 : Rendements des opérations de lavage.....	30
Tableau 18 : Résultats moyens des analyses des eaux de lavage évacuées des procédés.....	30
Tableau 19 : Résultats moyens des analyses de sol séparé des légumes.....	31
Tableau 20 : Bilans de matière obtenus avec le dessableur de l'IRDA.....	33
Tableau 21 : Calculs de l'efficacité du dessableur de l'IRDA.....	33
Tableau 22 : Analyse des échantillons de terre séparée des légumes.....	35
Tableau 23 : Caractéristiques des essais d'aération faits en bassins.....	43

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Unité de traitement de l'entreprise A lors du bilan massique du 15 novembre 2011.....	10
Figure 2 : Unité de traitement de l'entreprise B lors du bilan massique du 13 septembre 2012.....	14
Figure 3 : Unité de traitement de l'entreprise C lors du bilan massique du 27 septembre 2012.....	20
Figure 4 : Unité de traitement de l'entreprise D lors du bilan massique du 28 novembre 2012.....	24
Figure 5 : Unité de dessablage expérimentale.....	32
Figure 6 : Teneur en MES avant et après sédimentation selon le type d'effluent.....	36
Figure 7 : Teneur en DBO ₅ avant et après sédimentation selon le type d'effluent.....	36
Figure 8 : Teneur en phosphore total avant et après sédimentation selon le type d'effluent.....	37
Figure 9 : Montage expérimental du système d'aération pour le traitement de la couleur de betterave (C). Les débitmètres utilisés sont montrés en A et la pompe en B.....	39
Figure 10 : Montage expérimental du système d'aération pour tester l'effet de la lumière sur la dégradation de la couleur de betterave.....	39
Figure 11 : Variation de la couleur du mélange de jus de betteraves en fonction du temps à 400 nm (gauche) et à 535 nm (droite).....	40
Figure 12 : Échantillons pris à la fin des expériences pour le traitement de la solution de jus de betterave aux différents débits d'air (en Lair/min).....	41
Figure 13 : Variation de la couleur du mélange de bétanine en fonction du temps à 400 nm (gauche) et à 535 nm (droite). Les lignes pleines présentent les résultats sans lumière, alors que les lignes pointillées présentent les résultats avec lumière.....	42
Figure 14 : Dispositif présentant les 6 bassins de 1000 litres chez le producteur agricole.....	43
Figure 15 : Diffuseurs d'air utilisés lors de l'essai du traitement de la couleur en bassins de 1000 litres (A). Contenu d'un bassin d'eau de lavage de betteraves avant le début de l'aération. (B) et exemple du contenu d'un bassin d'eau de lavage de betteraves durant l'aération au taux de 0,02 Lair/Leau .min (C). 44	
Figure 16 : Variation de la couleur vraie (400 nm) et rouge (540 nm) dans les bassins en fonction du temps.....	45
Figure 17 : Échantillons prélevés 4 jours après le début de l'aération dans chacun des bassins lors de l'essai 2. Les échantillons 1(A,B,C) sont non aérés et 2(A,B,C) étaient aérés au taux de 0,02 Lair/Leau- min.....	45
Figure 18 : Variation de la couleur vraie (400 nm) et rouge (540 nm) dans les bassins en fonction du temps.....	46
Figure 19 : Échantillons prélevés 1 et 6 jours après le début de l'aération dans chacun des bassins lors de l'essai 2. À partir de la gauche, les échantillons sont en alternance non aérés et aérés. Le taux d'aération pour cet essai est de 0,01 Lair/Leau-min.....	46

Figure 20 : Bassin de 300 litres d'eau contenant 69 kg de betteraves tranchées pour simuler l'eau de lavage de betteraves.	47
Figure 21 : Dispositif des 6 bassins au centre de recherche de l'IRDA pour l'essai 3.	48
Figure 22 : Échantillons prélevés avant et 5 jours après le début de l'aération dans chacun des bassins lors de l'essai 3. À partir de la gauche, les échantillons sont en alternance non aérés et aérés. Le taux d'aération pour cet essai est de 0,0004 Lair/Leau-min.	48
Figure 23 : Variation de la couleur vraie (400 nm) et rouge (540 nm) dans les bassins en fonction du temps.....	49

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.

1. OBJECTIFS

Le lavage est une étape incontournable de la production des légumes racines au Québec. Il s'agit d'une pratique préalable à la mise en marché de certains légumes tels que le panais, la carotte, le navet, la betterave, etc. Cette activité agricole, qui nécessite de grands volumes d'eau, se doit d'être faite dans le respect de l'environnement.

Selon une étude du groupe AGECO (2007)¹, 50 % des producteurs interrogés possèdent au moins une station de lavage de légumes. Par ailleurs, les deux tiers des fermes qui ont des stations de lavage rejettent l'eau directement dans l'environnement sans traitement d'aucune sorte. La qualité de l'eau rejetée de ces stations de lavage est très variable.

La qualité des cours d'eau en milieu agricole est devenue un sujet prioritaire pour les instances environnementales de la province, les amenant ainsi à être de plus en plus vigilantes quant aux différents rejets agricoles dans les cours d'eau. Par conséquent, depuis 2008, près d'une vingtaine de producteurs maraîchers québécois ont reçu des avis de non-conformité du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) leur indiquant qu'ils doivent obtenir un certificat d'autorisation pour poursuivre leurs opérations de lavage et de conditionnement des légumes. Cette mesure législative du MDDEFP entraîne donc des conséquences majeures pour les producteurs qui ne sont pas conformes, mais aussi pour l'ensemble des producteurs maraîchers qui craignent à leur tour d'être appelés à modifier leurs installations de lavage.

Les travaux antérieurs réalisés au sein de l'équipe ont permis de conclure que pour réduire l'impact sur l'environnement du rejet des eaux de lavage des légumes racines, la gestion des particules de sol sur les légumes à l'entrée du système de lavage doit être améliorée. Il est également évident que la réduction du volume d'eau utilisé pourrait permettre une réduction des coûts de gestion et de traitement des effluents. Par conséquent, deux grands principes devraient être appliqués, soit : 1) optimiser l'enlèvement des particules de sol sur les légumes avant le lavage à l'eau et 2) optimiser la quantité d'eau utilisée lors du lavage. Les travaux antérieurs ont permis de mettre en lumière certaines interventions qui devraient être considérées dans la gestion de l'eau de lavage, soit :

- Optimiser l'enlèvement des particules de sol à sec avant le lavage à l'eau en déterminant l'efficacité des dessableurs et ainsi optimiser la quantité d'eau utilisée lors du lavage;
- Assurer un dimensionnement adéquat des bassins de sédimentation en déterminant le taux de sédimentation des matières en suspension (MES) présentes dans les eaux de lavage en fonction du type de sol utilisé pour cultiver les légumes;
- Favoriser le contrôle de la couleur en déterminant le temps de rétention et/ou la quantité d'air nécessaire à l'élimination de la couleur dans l'eau produite lors du lavage de la betterave.

Le présent projet a été mis en place afin de développer des approches économiques et durables de gestion des eaux de lavage.

¹ Groupe AGECO. 2007. Portrait et priorités du secteur maraîcher québécois. Rapport final présenté à la Fédération des producteurs maraîchers du Québec. 39 p.

1.1. Objectif général

L'objectif général du projet est d'évaluer l'efficacité et la faisabilité technico-économique de différentes solutions à la problématique des eaux de lavage de légumes racines au Québec.

1.2. Objectifs spécifiques

Cinq objectifs spécifiques ont été ciblés, soit :

1. Favoriser la concertation entre les intervenants du milieu afin de considérer les aspects environnementaux, économiques et les aspects relatifs à la santé publique dans les stratégies proposées;
2. Identifier les pistes de solution potentielles à évaluer en fonction des critères établis et des différentes réalités du terrain (type de sol, productions, etc.);
3. Réaliser des bilans massiques, simulations théoriques et essais en laboratoire;
4. Analyser les résultats et déterminer l'efficacité, la faisabilité et l'applicabilité potentielle des solutions;
5. Diffuser les résultats du projet auprès des producteurs maraîchers et intervenants du secteur.

2. RÉSULTATS ET ANALYSE

2.1. Résultats obtenus et analyse

Le présent rapport fait le point sur les travaux réalisés et a notamment permis de :

1. connaître les quantités de particules de sol qui pourraient être retirées par kg de légume;
2. connaître les effets de l'aération sur la couleur de l'eau de lavage de betterave;
3. avoir des données spécifiques sur le phénomène de sédimentation.

Des bilans complets ont été réalisés dans quatre entreprises agricoles afin de connaître la répartition et la provenance des différentes charges. Trois bilans ont été effectués dans des entreprises lavant de la carotte, dont une en terre noire, tandis que le dernier bilan a été fait dans des installations lavant de la betterave en sol minéral. Afin de pouvoir définir un potentiel système de traitement, des essais d'aération d'eau de lavage de betterave ont été effectués au laboratoire ainsi que dans des bassins de 1000 litres. Enfin, des essais de sédimentation en laboratoire ont été réalisés afin de documenter le comportement des matières en suspension dans de l'eau de lavage de légumes de trois sources différentes. Les prochaines lignes présentent les résultats obtenus.

2.1.1. Bilans massiques

Avant les essais, chacune des entreprises participantes a été visitée pour connaître les différents éléments qui forment la chaîne de traitement utilisée pour les opérations de lavage des légumes racines. Pour réaliser le bilan massique, toutes les matières qui alimentent le procédé et toutes les matières qui sont évacuées ont été identifiées et les quantités utilisées ont été mesurées le plus exactement possible. De plus, des échantillons de sol et d'eau de lavage ont été prélevés pour caractérisation par le Laboratoire d'analyses agroenvironnementales de l'IRDA.

Les paramètres analysés dans les échantillons liquides sont la demande biochimique en oxygène (DBO₅), le pH, les matières en suspension (MES), l'azote total (N total), l'azote ammoniacal (N-NH₄), les nitrates, les nitrites (N-NO₃+NO₂) et le phosphore total (P total). En raison des concentrations importantes de MES dans les échantillons, la méthode d'analyse a changé pour ce paramètre suite au premier essai. Cette méthode permettait également que l'hétérogénéité des échantillons soit prise en considération. Lors des essais chez les entreprises B, C et D, la méthode des solides totaux en suspension (STS) a donc été utilisée.

Les paramètres analysés dans les échantillons solides sont la teneur en matière organique, l'azote ammoniacal (N-NH₄), les nitrates (N-NO₃), le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg), l'aluminium (Al), le carbone total, l'azote total et une distribution granulométrique sommaire.

Dans la présente section, pour chacune des entreprises étudiées, les unités de traitement sont décrites, les points d'échantillonnage sont précisés, les étapes du déroulement de l'essai sont rapportées, puis les résultats du bilan massique et des analyses des échantillons prélevés sont présentés. De plus, des tableaux récapitulatifs des bilans massiques seront présentés et finalement, le dessableur expérimental fabriqué par l'IRDA sera présenté avec les résultats obtenus pour des essais de dessablage.

2.1.1.1. Entreprise A : Lavage de carottes en sol minéral

Description des unités de traitement

Les opérations de lavage de légumes racines à l'entreprise A sont conduites dans la région de Chaudière-Appalaches avec une laveuse à baril rotatif précédée d'une longueur de dessableur de 1,2 mètres (4 pieds). La figure 1 présente une photo de l'unité de traitement.

Les légumes alimentent la chaîne de production par le retournement dans la trémie d'alimentation du dessableur d'une benne de légumes provenant des opérations aux champs. Après le dessablage, les légumes tombent sur un convoyeur qui achemine les légumes dans le cylindre rotatif de la machine à laver. Les particules de sol retirées par le dessableur tombent sur un convoyeur pour être acheminées à l'extérieur du bâtiment et former un tas sous le dernier élément du convoyeur.

De l'eau potable provenant de diverses sources sur la ferme alimente la machine à laver par des gicleurs placés à l'intérieur du cylindre rotatif. L'eau est évacuée par le dessous de la machine et s'écoule par gravité vers l'extérieur du bâtiment pour terminer sa course dans le système de traitement des eaux de lavage.

Les légumes évacués par la machine à laver tombent sur une table de triage pour séparer, d'une part, les légumes qui sont emballés pour la vente et, d'autre part, les légumes non commercialisables qui forment les rejets.



Figure 1 : Unité de traitement de l'entreprise A lors du bilan massique du 15 novembre 2011.

Points d'échantillonnage

Pour faire le bilan des masses autour de l'unité de lavage, les points de mesure et d'échantillonnage qui ont été sélectionnés pour les solides sont :

- 1) la trémie d'alimentation des légumes
- 2) le dessableur
- 3) les légumes emballés
- 4) les rejets de légumes déclassés.

Les points d'échantillonnage sélectionnés pour les liquides sont : le compteur d'eau installé sur la ligne d'alimentation en eau potable de la machine à laver, ainsi que le tuyau de décharge vers le système de traitement pour les eaux de lavage évacuées par la trémie de récupération située sous le baril rotatif de la laveuse.

Déroulement de l'essai

Des carottes ont été lavées durant l'essai du 15 novembre 2011. Elles avaient été récoltées le 18 octobre 2011 et proviennent d'un sol minéral dont la granulométrie est présentée au tableau 3.

Avant le début de l'essai, pour donner suite à une entente avec le producteur, la chaîne de lavage a été vidée complètement en incluant la trémie d'alimentation du dessableur, le dessableur, le dessous du dessableur, les convoyeurs, la laveuse et le réservoir d'accumulation des rejets.

Pour la détermination du bilan massique, trois bennes de carottes ont été sélectionnées, identifiées et pesées au dixième de kilogramme. Après que toutes les carottes soient tombées dans le dessableur, les bennes vides ont été pesées.

Au début du processus, les particules de sol évacuées par le dessableur ont été recueillies dans des bacs en plastique placés sur une plate-forme installée temporairement à la fin du convoyeur du dessableur, puis directement sur la plate-forme en raison de la quantité plus grande que prévue de particules de sol recueillies. À la fin de l'essai, les bacs et la plate-forme ont été pesés, vidés, puis pesés à nouveau vides. Avant d'être vidés, des échantillons de sol ont été prélevés dans chacun des bacs ainsi que sur la plate-forme.

Des morceaux de carton ont été placés sous le dessableur pour récupérer les particules de sol qui tombent sous le dessableur sans être évacuées par le convoyeur. À la fin de l'essai, le sol tombé sur les cartons a été placé dans un bac en plastique qui a été pesé, puis pesé à nouveau vide.

Durant l'essai, les sacs de carottes produits ont été comptés et la masse affichée sur les balances de la chaîne d'emballage a été notée. Pour les sacs de 22,7 kg (50 lb), la masse moyenne était de 22,8 kg (50,3 lb) (24 sacs notés). La moyenne des sacs de 0,9 kg (2 lb) était de 0,95 kg (2,1 lb) (7 sacs notés), et celle des 2,3 kg (5 lb) était de 2,4 kg (5,2 lb) (8 sacs notés). Aucun sac noté n'était inférieur à la masse voulue par le format. Ainsi, en multipliant le nombre de sacs par la masse moyenne observée pour le format, la masse totale de carottes emballées a été obtenue.

À la fin de l'essai, les rejets de carottes dans le réservoir d'accumulation des rejets ont été transvidés, puis pesés dans une benne vide déjà pesée.

La quantité d'eau alimentant la machine à laver a été mesurée en faisant la différence entre les lectures effectuées au début et à la fin de l'essai sur le totalisateur de volume du débitmètre magnétique installé sur la ligne d'alimentation d'eau de la laveuse. L'heure notée au démarrage et à l'arrêt du compteur d'eau a permis d'évaluer le débit d'eau durant l'essai.

Avant le début de l'essai, alors que la chaîne de lavage était vide et qu'il n'y avait pas de circulation d'eau par le compteur d'eau, un débit d'eau non comptabilisé a été noté au tuyau d'évacuation de l'eau de la laveuse. Ce débit d'eau, qui servait à rincer une section de la laveuse, a été interrompu durant l'essai en actionnant manuellement une valve de fermeture.

Plusieurs sous-échantillons d'environ 400 mL d'eau de lavage ont été prélevés sous le tuyau de décharge vers le système de traitement des eaux usées avec une longue perche munie d'un contenant cylindrique à son extrémité. Les sous-échantillons ont été accumulés dans une chaudière en plastique et, à la fin de l'essai, le contenu de la chaudière a été homogénéisé vigoureusement avec une cuillère et quatre échantillons ont été prélevés.

Résultats

Le bilan de masse complet de l'opération de lavage est présenté au tableau 1. Les tableaux 2 et 3 présentent respectivement les résultats des analyses effectuées sur les échantillons des eaux de lavage ainsi que sur les échantillons de sol récupérés sous le dessableur.

Tableau 1 : Bilan du 15 novembre 2011 à l'entreprise A.

ENTRÉE	Légumes à laver	2651 kg	
	Quantité d'eau de lavage utilisée	<i>12,8 m³ de 9 h 45 à 10 h 30</i> (284 LPM ou 75,0 gal/min)	
SORTIE	<i>Terre recueillie sous le dessableur</i>	399 kg	15 %
	<i>Terre dans les eaux de lavage</i> (4,32 g/L x 12800 L)	55 kg	2,1 %
	<i>Rejets de carottes</i>	768 kg	29 %
	<i>Carottes lavées et emballées</i>	1327 kg	50 %
	<i>Total</i>	2549 kg	
BILAN			96 %
MASSE MANQUANTE		102 kg	

Tableau 2 : Analyse des eaux de lavage acheminées au bassin de décantation.

Identification de l'échantillon	DBO ₅ (mg/L)	pH	MES (mg/L)	N total (mg/L)	N-NH ₄ (mg/L)	N-NO ₃ + NO ₂ (mg/L)	P total (mg/L)
1	290	6,44	3860	27,0	0,755	< 0,026	7,676
2	260	6,34	4940	22,9	0,783	< 0,026	7,747
3	260	6,36	4740	25,0	0,765	< 0,026	8,877
4	280	6,22	3730	30,7	1,15	0,046	8,106
Eau rejetée au cours d'eau	66	7,09	250	6,66	0,703	0,033	1,800

Tableau 3 : Analyse des échantillons de terre séparée des carottes.

		1	2	3	4	5
Matière organique	%	3,73	3,64	3,48	4,36	4,12
N-NH₄	mg/kg	0,933	0,946	0,709	0,718	0,761
N-NO₃	mg/kg	0,206	0,256	0,173	0,224	0,193
P Mehlich	mg/kg	54,6	54,6	62,3	63,4	61,9
K Mehlich	mg/kg	299	291	257	287	259
Ca Mehlich	mg/kg	1728	1733	1223	1823	1690
Mg Mehlich	mg/kg	97,6	97,7	83,6	79,5	71,9
Al Mehlich	mg/kg	721	706	836	1243	1148
Carbone total	%	2,35	2,05	1,89	2,23	2,39
Azote total	%	0,189	0,166	0,135	0,155	0,169
	sable	54	56	60	65	63
Granulométrie (%)	limon	24	24	23	18	19
	argile	22	20	17	17	18

2.1.1.2. Entreprise B : Lavage de carottes en sol minéral

Description des unités de traitement

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. La figure 2 présente une photo de l'unité de traitement.

Les opérations de lavage débutent par le retournement dans une trémie d'alimentation d'une benne de légumes provenant des opérations au champ. Le convoyeur sous la trémie d'alimentation achemine les légumes dans le baril rotatif de la machine à laver.

De l'eau potable provenant d'un puits sur la ferme alimente une série de gicleurs placés à l'intérieur du cylindre rotatif du côté sortie de la machine à laver. Cette eau évacuée du côté le plus propre de la laveuse est dirigée dans un petit réservoir surmonté d'une plaque perforée, puis acheminée par gravité dans un réservoir d'accumulation qui déborde sur le sol. Une pompe centrifuge achemine une fraction de cette eau dans un hydrocyclone qui produit un effluent d'eau épurée qui alimente une série de gicleurs installés du côté entrée de la machine à laver, là où les légumes sont les plus sales. Un tuyau de sortie à la base de l'hydrocyclone permet d'évacuer, lorsque requis, une fraction enrichie de matières solides dans un petit

bassin de sédimentation qui déborde sur le sol. Les eaux qui s'écoulent au sol sont évacuées dans un caniveau conduisant à une lagune extérieure.

Les légumes évacués de la machine à laver tombent sur une table de triage pour séparer, d'une part, les légumes qui sont emballés pour la vente et, d'autre part, les légumes non commercialisables qui forment les rejets.



Figure 2 : Unité de traitement de l'entreprise B lors du bilan massique du 13 septembre 2012.

Points d'échantillonnage

Pour établir le bilan de masse, huit points de mesure et d'échantillonnage ont été sélectionnés. Les trois points pour les solides sont la trémie d'alimentation des légumes incluant le convoyeur, les rejets de légumes déclassés et les légumes emballés. Les cinq points d'échantillonnage pour les liquides sont :

- 1) l'eau potable dans le lavabo de la salle de toilette;
- 2) l'eau épurée par l'hydrocyclone sous l'une des buses d'écoulement de l'eau dans la première section d'entrée du baril rotatif;
- 3) l'eau alimentant l'hydrocyclone par la valve placée à la base du réservoir d'accumulation d'une partie des eaux sales qui s'écoulent sous la laveuse;
- 4) l'eau finale évacuée dans le caniveau conduisant à la lagune extérieure;
- 5) l'eau chargée par l'hydrocyclone récupérée dans un bac en plastique à la fin de l'essai.

Déroulement de l'essai

Les carottes lavées durant l'essai ont été récoltées dans la région de la Capitale-Nationale, et proviennent d'un sol minéral dont la granulométrie est présentée au tableau 9.

La veille de l'essai, des compteurs d'eau (Elster AMCO C700) ont été installés sur la ligne d'alimentation en eau potable de la machine à laver et sur le tube d'évacuation de l'eau épurée provenant de l'hydrocyclone.

Avant le début de l'essai, pour donner suite à une entente avec le producteur, la chaîne de lavage a été vidée complètement, puis mise à l'arrêt. De plus, des bennes vides ont été pesées et installées sous la trémie d'alimentation des carottes et sous le convoyeur d'évacuation des carottes déclassées.

Pour la détermination du bilan massique, les opérations de lavage de trois bennes de carottes ont été surveillées. Ainsi, trois bennes pleines de carottes ont été sélectionnées, identifiées et pesées au dixième de kilogramme avant le début de l'essai. Par la suite, après que toutes les carottes aient été vidées dans le dessableur, les bennes vides ont été pesées.

À la fin de l'essai, les sacs de carottes produits, qui sont regroupés par capacité sur les palettes de transport, ont été comptés. Les bennes de récupération des carottes déclassées et du sol évacué sous la trémie d'alimentation des carottes ont été pesées. De plus, le sol accumulé sous la trémie d'alimentation a été échantillonné à trois reprises. Cependant, cette fraction produite durant l'essai semblait visuellement contenir plus de résidus de carottes que de sol.

La quantité d'eau alimentant la machine à laver ainsi que la quantité d'eau traitée par l'hydrocyclone ont été mesurées en faisant la différence entre les lectures effectuées au début et à la fin de l'essai sur les totalisateurs des compteurs d'eau.

Les échantillons d'eau ont été récoltés à différentes fréquences selon le point d'échantillonnage. L'eau potable a été échantillonnée une seule fois un peu avant le début de l'essai. Une portion de l'eau chargée par l'hydrocyclone a été recueillie et échantillonnée trois fois à la fin de l'essai. Pour les trois autres points, les échantillons ont été prélevés à huit reprises durant le déchargement des bennes de carottes.

Résultats

Le bilan de masse complet de l'opération de lavage est présenté au tableau 4. Les tableaux 5 à 8 présentent les résultats des analyses effectuées sur les échantillons d'eau alors que le tableau 9 présente les résultats des analyses effectuées sur les échantillons de sol.

Tableau 4 : Bilan du 13 septembre 2012 à l'entreprise B.

ENTRÉE	Légumes à laver	1885 kg	
	Quantité d'eau de lavage utilisée	<i>5,84 m³ de 12 h 29 à 13 h 40 (82,3 LPM ou 21,7 gal/min)</i>	
	<i>Quantité d'eau traitée par l'hydrocyclone</i>	<i>4,44 m³ de 12 h 29 à 13 h 40 (62,5 LPM ou 16,5 gal/min)</i>	
SORTIE	<i>Terre recueillie sous le convoyeur</i>	<i>10,5 kg</i>	<i>0,56 %</i>
	<i>Terre dans les eaux de lavage (1,98 g/L x 5840 L)</i>	<i>11,6 kg</i>	<i>0,62 %</i>
	<i>Rejets de carottes</i>	<i>498 kg</i>	<i>26 %</i>
	<i>Carottes lavées et emballées</i>	<i>1223 kg</i>	<i>65 %</i>
	<i>Total</i>	<i>1743 kg</i>	
BILAN			92 %
MASSE MANQUANTE		142 kg	

Tableau 5 : Analyse des eaux évacuées de la laveuse.

Identification de l'échantillon	DBO ₅ (mg/L)	pH	MES (mg/L)	N total (mg/L)	N-NH ₄ (mg/L)	N-NO ₃ + NO ₂ (mg/L)	P total (mg/L)
1	120	7,20	810	5,52	< 0,075	< 0,036	1,509
2	120	7,07	620	4,69	< 0,075	< 0,036	1,371
3	88	7,10	350	3,12	< 0,075	< 0,036	0,892
4	100	7,22	630	3,57	< 0,075	< 0,036	1,113
5	85	7,11	340	2,80	< 0,075	< 0,036	0,697
6	71	7,19	260	2,19	< 0,075	< 0,036	0,572
7	100	7,00	200	3,88	< 0,075	< 0,036	1,192
8	110	6,98	1010	4,63	< 0,075	< 0,036	1,412

Tableau 6 : Analyse des eaux à la sortie de l'hydrocyclone.

Identification de l'échantillon	DBO ₅ (mg/L)	pH	MES (mg/L)	N total (mg/L)	N-NH ₄ (mg/L)	N-NO ₃ + NO ₂ (mg/L)	P total (mg/L)
1	0,6	8,98	0	0	0,109	0,125	0,051
2	0,7	8,76	0	0	0,178	0,123	0,0487
3	1,0	8,96	10	0,103	0,080	0,144	0,0626
4	1,4	8,98	0	0,128	0,087	0,146	0,0502
5	1,3	8,97	0	0,016	< 0,075	0,152	0,0485
6	1,2	9,05	0	0	0,079	0,147	0,047
7	1,0	9,06	0	0,028	< 0,075	0,153	0,0488
8	1,1	9,04	0	0,078	< 0,075	0,149	0,0473

Tableau 7 : Analyse des eaux de lavage rejetées à la lagune.

Identification de l'échantillon	DBO ₅ (mg/L)	pH	MES (mg/L)	N total (mg/L)	N-NH ₄ (mg/L)	N-NO ₃ + NO ₂ (mg/L)	P total (mg/L)
1	410	6,66	5190	29,8	< 0,075	< 0,036	7,701
2	330	6,47	2840	21,1	< 0,075	< 0,036	5,047
3	150	6,76	550	5,44	< 0,075	0,038	1,613
4	220	6,61	1410	12,2	< 0,075	< 0,036	2,576
5	150	6,80	530	5,40	0,353	< 0,036	1,335
6	200	6,70	1450	10,2	< 0,075	< 0,036	2,433
7	240	6,65	2270	13,2	< 0,075	< 0,036	3,008
8	170	6,79	1570	7,89	< 0,075	< 0,036	2,151

Tableau 8 : Analyse de l'eau potable et des eaux boueuses évacuées par l'hydrocyclone.

Identification de l'échantillon	DBO ₅ (mg/L)	pH	MES (mg/L)	N total (mg/L)	N-NH ₄ (mg/L)	N-NO ₃ + NO ₂ (mg/L)	P total (mg/L)
Eau potable	1,9	8,99	0	0,053	< 0,075	0,157	0,0454
1	120	6,97	1820	6,43	< 0,075	< 0,036	2,247
2	120	6,99	1960	6,59	< 0,075	< 0,036	2,404
3	110	7,02	1240	5,53	< 0,075	< 0,036	1,637
4	100	7,06	1030	4,67	0,087	< 0,036	1,527
5	100	7,21	1140	4,90	< 0,075	< 0,036	1,559

Tableau 9 : Analyse des échantillons de terre séparée des carottes.

		1	2	3
Matière organique	%	6,22	5,13	6,17
N-NH₄	mg/kg	1,25	1,22	1,93
N-NO₃	mg/kg	0,673	0,380	0,886
P Mehlich	mg/kg	77,4	62,2	66,6
K Mehlich	mg/kg	814	582	837
Ca Mehlich	mg/kg	2718	2535	2758
Mg Mehlich	mg/kg	249	205	256
Al Mehlich	mg/kg	827	799	821
Carbone total	%	3,38	2,80	3,39
Azote total	%	0,226	0,199	0,230
	sable	41	41	35
Granulométrie (%)	limon	21	24	28
	argile	38	35	37

2.1.1.3. Entreprise C : Lavage de betteraves en sol minéral

Description des unités de traitement

À l'entreprise d'emballage de produits frais de l'entreprise C, située dans la région de Lanaudière, les légumes sont lavés dans une laveuse à baril rotatif d'une longueur de 6,1 mètres (20 pieds) précédée d'un dessableur de 1,2 mètres (4 pieds). La figure 3 présente une photo de l'unité de traitement.

Les bennes de légumes provenant des champs sont retournées dans une trémie d'alimentation dont le convoyeur achemine les légumes sur le dessableur qui se décharge sur un convoyeur conduisant à la trémie d'alimentation de la machine à laver. Les solides qui tombent sous ces unités sont récupérés dans quatre bennes dont deux sont placées sous la trémie d'alimentation des légumes, une sous le dessableur et, une autre sous le deuxième convoyeur.

Les buses de la machine à laver sont alimentées avec de l'eau potable provenant de puits sur la ferme. Les eaux sales sont évacuées par un orifice pratiqué dans la trémie de récupération de l'eau sous le baril rotatif, puis dans une lagune à l'extérieur du bâtiment. La trémie de récupération de l'eau est séparée en deux par une paroi munie d'une valve à guillotine et, au besoin, une pompe récupère l'eau dans la section sortie de la trémie d'évacuation des eaux pour la diriger avec un tuyau sur les légumes qui déboulent dans la trémie d'alimentation de la machine à laver.



Figure 3 : Unité de traitement de l'entreprise C lors du bilan massique du 27 septembre 2012.

Points d'échantillonnage

Pour faire le bilan des masses autour de l'unité de lavage, les points de mesure et d'échantillonnage qui ont été sélectionnés pour les solides sont :

- 1) la trémie d'alimentation des légumes;
- 2) le dessableur;
- 3) le convoyeur reliant le dessableur et la machine à laver;
- 4) les légumes emballés;
- 5) les rejets de légumes déclassés.

Les points sélectionnés pour les liquides sont le compteur d'eau installé sur la ligne d'alimentation en eau potable de la machine à laver et le tube de vidange de la trémie de récupération de l'eau sous le baril rotatif.

Déroulement de l'essai

Lors de l'essai du 27 septembre 2012 pour l'établissement du bilan massique de l'unité de lavage de légumes de l'entreprise C, des betteraves récoltées en sol minéral sur les terres du producteur ont été lavées.

La veille de l'essai, pour donner suite à une entente avec le producteur, la chaîne de lavage a été vidée complètement, puis mise à l'arrêt. Le matin, avant l'essai, les quatre bennes destinées à recueillir les particules de sol évacuées sous les unités précédant la machine à laver ont été pesées par le producteur sans être vidées, puis ont été remises en place pour l'essai. Une benne vide a été pesée, puis installée sous le convoyeur d'évacuation des betteraves déclassées. De plus, deux palettes d'expédition partiellement remplies de betteraves emballées ont été pesées, puis replacées sous les chutes de betteraves emballées. Durant l'essai, lorsque nécessaire, de nouvelles palettes ont été pesées pour recueillir les betteraves emballées.

Pour la détermination du bilan massique, les opérations de lavage de six bennes de betteraves ont été surveillées. Ainsi, six bennes pleines de betteraves ont été sélectionnées, identifiées et pesées au dixième de kilogramme avant le début de l'essai.

Durant l'essai, les bennes de betteraves vides ainsi que les palettes d'expédition remplies de betteraves emballées ont été pesées au fur et à mesure de leur production.

À la fin de l'essai, la benne de récupération des rejets de betteraves et les quatre bennes destinées à recueillir les particules de sol évacuées sous les unités d'alimentation de la laveuse ont été pesées. De plus, le sol dans chacune des quatre bennes sous la trémie d'alimentation a été échantillonné. Cependant, cette fraction semblait visuellement contenir beaucoup plus de résidus de betteraves que de sol.

La quantité d'eau alimentant la laveuse a été mesurée en faisant la différence entre les lectures effectuées au début et à la fin de l'essai sur le compteur d'eau installé sur la ligne d'alimentation de la machine à laver.

Les échantillons d'eau ont été récoltés à différentes fréquences selon le point d'échantillonnage. L'eau potable a été échantillonnée une seule fois un peu après le début de l'essai. L'eau évacuée sous la laveuse a été échantillonnée à six reprises aux dix à quinze minutes durant la période requise pour vider les six bennes de betteraves et transférer totalement le contenu dans le baril de la laveuse.

Résultats

Le bilan de masse complet de l'opération de lavage est présenté au tableau 10. Les tableaux 11 et 12 présentent respectivement les résultats des analyses effectuées sur les échantillons d'eau ainsi que sur les échantillons de sol récupérés sous la trémie d'alimentation des betteraves.

Tableau 10 : Bilan du 27 septembre 2012 à l'entreprise C.

ENTRÉE	Légumes à laver	4002 kg	
	Quantité d'eau de lavage utilisée	<i>11 m³ de 6 h 14 à 7 h 35</i> (136 LPM ou 36 gal/min)	
SORTIE	<i>Terre recueillie sous la trémie</i>	164 kg	4,1 %
	<i>Terre dans les eaux de lavage</i> (8,89 g/L x 11000 L)	97,8 kg	2,4 %
	<i>Rejets de betteraves</i>	129 kg	3,2 %
	<i>Betteraves lavées et emballés</i>	3628 kg	91 %
	<i>Total</i>	4019 kg	
BILAN			100 %
MASSE EXCÉDENTAIRE		17 kg	

Tableau 11 : Analyse de l'eau potable et des eaux de lavage rejetées à la lagune.

Identification de l'échantillon	DBO ₅ (mg/L)	pH	MES (mg/L)	N total (mg/L)	N-NH ₄ (mg/L)	N-NO ₃ + NO ₂ (mg/L)	P total (mg/L)
Eau potable	0,5	7,61	0	0,339	< 0,075	0,371	0,015
1	240	6,96	1330	36,7	0,801	< 0,036	19,425
2	630	6,37	2080	55,8	2,88	< 0,036	35,061
3	830	6,17	1030	55,3	2,52	< 0,036	35,376
4	450	6,36	7030	40,9	1,09	< 0,036	17,151
5	410	6,35	1750	26,3	0,715	< 0,036	6,331
6	120	7,26	150	7,13	< 0,075	< 0,036	1,121

Tableau 12 : Analyse des échantillons de terre séparée des betteraves.

		1	2	3	4
Matière organique	%	4,27	5,87	5,56	4,95
N-NH₄	mg/kg	1,53	3,08	0,111	2,48
N-NO₃	mg/kg	3,05	5,54	7,68	5,91
P Mehlich	mg/kg	113	133	166	135
K Mehlich	mg/kg	413	628	1048	875
Ca Mehlich	mg/kg	2863	3151	2052	2201
Mg Mehlich	mg/kg	321	426	538	474
Al Mehlich	mg/kg	772	714	498	624
Carbone total	%	2,15	3,11	2,84	2,44
Azote total	%	0,178	0,252	0,209	0,194
	sable	47	52	71	57
Granulométrie	limon	22	20	13	20
	argile	31	28	16	23

2.1.1.4. Entreprise D : Lavage de carottes en sol organique

Description des unités de traitement

La ligne de traitement et d'emballage de carottes qui a été échantillonnée est installée en Montérégie-Ouest. La ligne de traitement inclut des bassins de prétrempage, une laveuse à baril rotatif d'une longueur de 6,1 mètres (20 pieds), une machine pour broser les légumes et des unités de classement des carottes. Différents types de convoyeur relient les différentes unités de la ligne de traitement. La figure 4 présente une photo de l'unité de traitement.

Les bennes de carottes cultivées en sols organiques sont retournées dans un bassin de prétrempage duquel les carottes sont retirées par un convoyeur oblique qui monte les carottes sur le convoyeur d'alimentation de la machine à laver. Les carottes lavées pénètrent dans une machine pour être brossées puis sont dirigées vers les unités de classement pour être emballées.

Les buses de la machine à laver sont alimentées avec de l'eau potable provenant d'un puit et les eaux de lavage qui dégouttent sous la machine à laver sont acheminées vers les bassins de prétrempage dans un canal aménagé sous la première partie de la ligne de lavage. À la fin de la journée d'opération et,

occasionnellement, lorsque les bassins de prétrempage sont pleins, les eaux sales sont évacuées avec une pompe dans une lagune à l'extérieur du bâtiment.



Figure 4 : Unité de traitement de l'entreprise D lors du bilan massique du 28 novembre 2012.

Points d'échantillonnage

Pour faire le bilan des masses autour de l'unité de lavage, les points de mesure et d'échantillonnage qui ont été sélectionnés pour les solides sont :

- 1) les bennes de carottes renversées dans le bassin de prétrempage;
- 2) le dessous de la trémie d'alimentation de la machine à laver pour les résidus de sol ou de carottes retirés avant la machine à laver;
- 3) le convoyeur des rejets non commercialisables;
- 4) les diverses sorties des carottes classées destinées à l'emballage.

Les points d'échantillonnage sélectionnés pour les liquides sont la ligne d'alimentation en eau potable de la machine à laver, le canal d'évacuation des eaux de la machine à laver vers le bassin de prétrempage et un des tuyaux de retour d'eau vers le bassin de prétrempage des carottes non lavées.

Déroulement de l'essai

Pour la détermination du bilan massique de l'unité de lavage de légumes de l'entreprise D, la journée du mercredi a été choisie parce que habituellement, pour cette journée, la production normale est suspendue.

Ainsi, lors de l'essai du mercredi 28 novembre 2012, les opérations de lavage ont été conduites spécifiquement pour l'établissement du bilan massique alors que des carottes déjà entreposées dans l'usine ont été lavées et récupérées sans être emballées aux points de sortie des unités de classement. De plus, un seul des bassins de prétrempage, le plus petit, a été utilisé pour l'essai.

Durant la même journée, après l'essai de la chaîne de lavage principale, une unité de dessablage de légumes racines, assemblée par le personnel de l'IRDA, a été testée sur place avec des carottes de la même source. Les résultats de ces essais sont présentés à la section 2.1.1.6.

La veille de l'essai, selon la procédure habituelle, la chaîne de lavage a été vidée complètement puis nettoyée au jet d'eau. Le matin, avant l'essai, un débitmètre magnétique (COPA-XE de Bailey Fischer & Porter) a été installé sur la ligne d'alimentation en eau potable de la machine à laver.

Avant le début de l'essai, quinze bennes pleines de carottes non-lavées ont été pesées à la livre sur la balance de l'entreprise. De ces bennes, treize ont alimenté la chaîne de lavage, une a été utilisée pour l'essai de dessablage et la dernière n'a pas été utilisée. Quinze bennes vides ont aussi été pesées pour récupérer les carottes lavées, les rejets récupérés avant les unités de classement et les résidus récupérés sous le convoyeur d'alimentation de la machine à laver.

Les opérations de lavage ont débuté par le remplissage du bassin de prétrempage. Lorsque l'opérateur a considéré que la quantité d'eau était suffisante pour débiter le lavage, une première benne de carottes a été renversée dans le bassin de prétrempage. Quelques instants après le démarrage du convoyeur d'extraction des carottes du bassin, la rupture de la courroie du convoyeur a entraîné l'arrêt des opérations de lavage et une période d'attente pour la réparation de la courroie.

La quantité d'eau alimentant la laveuse a été mesurée en faisant la différence entre les lectures effectuées au début et à la fin de l'essai sur le totalisateur de volume du débitmètre magnétique installé sur la ligne d'alimentation de la machine à laver. Pendant la réparation de la courroie, l'alimentation en eau a été interrompue temporairement.

Après la réparation de la courroie, l'essai a été conduit sur une période d'environ une heure (14 h 37 à 15 h 31) pendant laquelle les échantillons d'eau ont été prélevés aux 5 minutes. Vers la fin de l'essai, les bennes initialement remplies de carottes non lavées ont été pesées vides et les bennes initialement vides ont été pesées avec les carottes propres, les rejets ou les résidus.

Résultats

Le bilan de masse complet de l'opération de lavage est présenté au tableau 13. Les tableaux 14, 15 et 16 présentent respectivement les résultats des analyses effectuées sur les échantillons d'eau rejetée à la lagune, les échantillons d'eau évacuée sous la laveuse, ainsi que les échantillons de sol récupérés sous la trémie d'alimentation des carottes.

Tableau 13 : Bilan du 28 novembre 2012 à l'entreprise D.

ENTRÉE	Légumes à laver	10462 kg	
	Quantité d'eau de lavage utilisée	<i>24 m³ de 14 h 37 à 15 h 31 (445 LPM ou 118 gal/min)</i>	
	<i>Terre ou résidus sous la trémie</i>	200 kg	1,9 %
	<i>Terre dans les eaux de lavage (1,33 g/L x 24000 L)</i>	31,9 kg	0,30 %
SORTIE	<i>Rejets de carottes</i>	808 kg	7,7 %
	<i>Carottes lavées</i>	9377 kg	90 %
	<i>Total</i>	10417 kg	
BILAN			100 %
MASSE MANQUANTE		45 kg	

Tableau 14 : Analyse des eaux de lavage rejetées à la lagune.

Identification de l'échantillon	DBO₅ (mg/L)	pH	MES (mg/L)	N total (mg/L)	N-NH₄ (mg/L)	N-NO₃ + NO₂ (mg/L)	P total (mg/L)
1A	280	7,70	480	4,79	0,437	< 0,036	0,891
1B	ND	7,50	420	6,97	0,123	< 0,036	1,151
1C	ND	7,25	740	14,9	< 0,075	0,065	2,332
1D	ND	7,09	1170	24,1	< 0,075	0,080	3,759
1E	ND	6,97	1470	30,2	< 0,075	< 0,036	4,927
1F	ND	6,95	1490	30,1	< 0,075	< 0,036	4,898
1G	ND	6,94	1560	34,0	< 0,075	< 0,036	5,481
1H	ND	6,96	1640	35,2	< 0,075	< 0,036	5,850
1I	ND	6,90	1870	37,1	< 0,075	< 0,036	5,865
1J	ND	6,94	1570	39,0	< 0,075	< 0,036	5,146
1K	ND	6,92	1400	31,8	< 0,075	< 0,036	5,166
1L	240	7,06	2150	36,7	< 0,075	< 0,036	5,647

Tableau 15 : Analyse des eaux de lavage évacuées sous la laveuse.

Identification de l'échantillon	DBO₅ (mg/L)	pH	MES (mg/L)	N total (mg/L)	N-NH₄ (mg/L)	N-NO₃ + NO₂ (mg/L)	P total (mg/L)
2A	47	8,07	10	0,731	0,744	< 0,036	0,0401
2B	ND	7,04	540	11,6	< 0,075	< 0,036	2,794
2C	ND	6,78	1010	25,1	< 0,075	< 0,036	4,607
2D	ND	6,71	1820	33,9	< 0,075	0,058	6,769
2E	ND	6,56	2360	50,2	0,090	0,072	8,271
2F	ND	7,26	260	7,77	0,221	< 0,036	1,417
2G	ND	6,86	890	24,3	< 0,075	0,046	4,504
2H	ND	6,68	1730	36,6	< 0,075	0,076	6,090
2I	ND	6,70	1170	28,7	< 0,075	< 0,036	5,379
2J	ND	7,08	560	15,2	< 0,075	< 0,036	2,975
2K	ND	6,88	810	15,5	0,143	< 0,036	2,686
2L	110	6,90	620	17,3	< 0,075	< 0,036	2,436

Tableau 16. Analyse des échantillons de sol séparé des carottes.

		1	2
Matière organique	%	72,5	69,8
N-NH₄	mg/kg	5,99	6,33
N-NO₃	mg/kg	1,99	3,18
P Mehlich	mg/kg	313	294
K Mehlich	mg/kg	2819	2749
Ca Mehlich	mg/kg	10311	9744
Mg Mehlich	mg/kg	1356	1292
Al Mehlich	mg/kg	466	463
Carbone total	%	37,8	37,7
Azote total	%	2,0	1,98
	sable	NA	NA
Granulométrie	limon	NA	NA
	argile	NA	NA

NA : non analysé puisque la teneur en matière organique était trop élevée.

2.1.1.5. Tableaux récapitulatifs

Pour les quatre entreprises participantes, le tableau 17 résume les rendements obtenus pour les différentes fractions produites par les unités de lavage étudiées. Le tableau 18 présente les moyennes des analyses des eaux rejetées à l'extérieur des unités de lavage, alors que le tableau 19 résume les analyses de sol séparé des produits.

Les moyennes des analyses ont été calculées pour résumer les données et pour permettre les comparaisons des différents procédés entre eux. Bien que les résultats soient très variables selon les sites, il est possible de les expliquer par l'hétérogénéité à l'intérieur des échantillons, ainsi qu'à l'hétérogénéité des benches de légumes à laver.

Tableau 17 : Rendements des opérations de lavage.

	Entreprise A	Entreprise B	Entreprise C	Entreprise D
ENTRÉE				
Légumes à laver (kg)	2651	1885	4002	10462
Quantité d'eau (m3)	12,8	5,84	11	24
Débit d'eau (LPM)	284	82,3	136	445
CONSOMMATION D'EAU (L/kg)	4,8	3,1	2,7	2,3
SORTIE				
Terre récupérée à sec (%)	15	0,56	4,1	1,9
Terre dans l'eau (%)	2,1	0,62	2,4	0,30
Rejets de légumes (%)	29	26	3,2	7,7
Légumes emballés (%)	50	65	91	90
BILAN	(%)	96	92	100

Tableau 18 : Résultats moyens des analyses des eaux de lavage évacuées des procédés.

	DBO₅ (mg/L)	pH	MES (mg/L)	N total (mg/L)	N-NH₄ (mg/L)	N-NO₃ + NO₂ (mg/L)	P total (mg/L)
Entreprise A	270	6,34	4320	26,4	0,863	< 0,026	8,102
Entreprise B	230	6,68	1980	13,2	< 0,075	< 0,036	3,233
Entreprise C	447	6,58	8890	37,0	1,33	< 0,036	19,078
Entreprise D	260	7,10	1330	27,1	< 0,075	< 0,036	4,259

Tableau 19 : Résultats moyens des analyses de sol séparé des légumes.

		Entreprise A	Entreprise B	Entreprise C	Entreprise D
Matière organique	%	3,87	5,84	5,16	71,2
N-NH₄	mg/kg	0,813	1,47	1,80	6,16
N-NO₃	mg/kg	0,210	0,646	5,55	2,59
P Mehlich	mg/kg	59,4	68,7	137	304
K Mehlich	mg/kg	279	744	741	2784
Ca Mehlich	mg/kg	1639	2670	2567	10027
Mg Mehlich	mg/kg	86,1	237	440	1324
Al Mehlich	mg/kg	931	816	652	465
Carbone total	%	2,18	3,19	2,64	37,8
Azote total	%	0,163	0,218	0,208	1,99
	sable	59	39	57	NA*
Granulométrie	limon	22	24	19	NA
	argile	19	37	24	NA

* Non analysé en raison de la teneur élevée en matière organique de l'échantillon.

2.1.1.6. Dessableur expérimental

Description de l'unité de dessablage

Afin de comparer les performances de dessablage pour divers types de sols et conditions d'entreposage, une unité de dessablage incluant un alimentateur et un dessableur a été fabriquée dans les ateliers de l'IRDA avec des éléments disponibles commercialement. Une photo de l'unité de dessablage est présentée à la figure 5.



Figure 5 : Unité de dessablage expérimentale

L'alimentateur a été fabriqué en fixant une trémie en contre-plaqué sur un convoyeur de 122 x 63 cm (48 x 25 po). Le dessableur a été assemblé avec 12 arbres rotatifs munis de roues en étoiles à 6 doigts en caoutchouc pour former une surface de 157 x 44 cm (62 x 17,5 po). Les pièces en rotation de l'alimentateur sont entraînées avec une chaîne par un moteur électrique alors que les pièces en rotation du dessableur sont reliées entre elles par un réseau de chaînes et sont actionnées par un moteur électrique indépendant. Pour former l'unité de dessablage, le convoyeur de l'alimentateur est installé en oblique devant le dessableur pour que les légumes montent vers le dessableur.

Points d'échantillonnage

Pour connaître la distribution des masses autour de l'unité de dessablage, les carottes non-lavées déversées dans la trémie d'alimentation ainsi que les carottes évacuées à la sortie du dessableur sont pesées. Les matières qui tombent sous le convoyeur de la trémie d'alimentation sont récupérées sur une toile pour être pesées et les matières évacuées sous le dessableur sont récupérées dans trois bacs de plastique placés côte à côte et pesés séparément.

Essais de l'unité de dessablage

Deux séries d'essais de fonctionnement de l'unité de dessablage ont été réalisées. La première série a été menée dans les ateliers de l'IRDA avec des carottes provenant d'un sol minéral de l'entreprise A où un bilan massique avait été effectué. La seconde a été réalisée après la détermination du bilan massique de l'unité de lavage de l'entreprise D, avec le même lot de carottes cultivées en sol organique.

Lors de la première série d'essais, quelques tests préliminaires ont permis d'améliorer les paramètres de fonctionnement de l'unité. Par la suite, deux essais complets, les essais 1A et 1B ont été conduits en plaçant pour chaque essai environ 100 kg de carottes dans la trémie d'alimentation. Pour la deuxième série d'essais (en sol organique), une benne complète de carottes a été vidée graduellement dans la trémie d'alimentation du dessableur.

Résultats

Les bilans de matière obtenus pour les deux séries d'essais sont présentés au tableau 20 et les résultats d'efficacité du dessablage sont présentés au tableau 21.

Tableau 20 : Bilans de matière obtenus avec le dessableur de l'IRDA.

		Essai 1A Terre minérale		Essai 1B Terre minérale		Essai 2 Terre organique	
ENTRÉE	carottes non-lavées	114 kg		119 kg		716 kg	
SORTIE	terre	14,1 kg	12 %	18,0 kg	15 %	7,4 kg	1,0 %
	carottes dessablées	98,7 kg	87 %	100 kg	84 %	711 kg	99 %
BILAN			99 %		99 %		100 %
DIFFÉRENCE		0,92 kg		1,4 kg		-2,4 kg	

Tableau 21 : Calculs de l'efficacité du dessableur de l'IRDA.

Points d'échantillonnage	Essai 1A Terre minérale		Essai 1B Terre minérale		Essai 2 Terre organique	
Alimentateur	5,58 kg	40 %	6,74 kg	38 %	5,94 kg	80 %
1^e tiers du dessableur	6,64 kg	47 %	9,16 kg	51 %	0,48 kg	6,5 %
2^e tiers du dessableur	1,18 kg	8,4 %	1,36 kg	7,6 %	0,64 kg	8,7 %
3^e tiers du dessableur	0,68 kg	4,8 %	0,70 kg	3,9 %	0,32 kg	4,3 %
Total	14,1 kg	100 %	18,0 kg	100 %	7,38 kg	99,5 %

2.1.2. Sédimentation

Les effluents provenant du lavage de légumes racines présentent une haute teneur en solides sédimentables et en suspension. La présence de ces polluants dans les cours d'eau affecte les formes de vie, soit par une consommation de l'oxygène dissous, soit par l'interférence à la pénétration de la lumière. L'enlèvement de ces polluants peut être fait par divers procédés mécaniques, physico-chimiques ou biologiques.

Les solides sédimentables proviennent principalement du sol et sont un mélange de matières organiques et inorganiques qui augment la DBO₅ et la concentration de phosphore total (P_{total}) à l'effluent. Un pourcentage considérable de ces solides peut être enlevé en utilisant un bassin de sédimentation. La détermination des dimensions du bassin dépend de la vitesse de sédimentation des solides. Ce paramètre est affecté par divers composants du sol, ce qui rend difficile la conception des bassins. De plus, dans le cas de l'eau de lavage de légumes racines, il y a libération de petites quantités de composés organiques provenant des légumes, tels des saccharides, des oligosaccharides, des pigments, etc. Ces composés peuvent interagir avec les particules fines du sol de différentes façons. Par exemple, il peut y avoir une interaction moléculaire d'attraction-répulsion entre les molécules chargées et les particules fines du sol en donnant un effet de colloïde aux particules fines. Ce phénomène cause une diminution de la vitesse de sédimentation de particules fines, ce qui est reflété par une diminution de l'efficacité d'un bassin de sédimentation et/ou une augmentation du volume du bassin.

L'effet mentionné ci-haut dépend également du type de légumes et de sol. Il n'y a pas d'information disponible dans la littérature sur les vitesses de sédimentation pour les eaux de lavage de légume racines. La détermination expérimentale de la vitesse de sédimentation permet aussi l'analyse du surnageant, ce qui sert au calcul de l'enlèvement de polluants dans une unité de sédimentation.

L'importance de la gestion adéquate des solides dans les eaux de lavage de légumes a été mise en évidence par Dilek *et al.* (2003)² ainsi que par Wilson (1985)³ indiquant respectivement la possibilité de réduire de 30% la capacité d'entreposage et de 25% les coûts de traitement.

Pour déterminer l'effet d'une unité de sédimentation sur la teneur en MES, DBO₅ et P_{total} sur trois échantillons d'eau de lavage de légumes racines, trois cônes Imhoff de 1 L en polycarbonate ont été utilisés. Les trois types d'eau de lavage analysés (sol-légume) sont : argile-navet (A-N), loam sableux-panais (L-P), et sable-carotte (S-C). Trois échantillons homogénéisés de 1 L de chaque échantillon ont été mis dans les cônes Imhoff. Pendant une heure, le volume de sédiments au fond des cônes a été suivi et enregistré aux cinq minutes. Après une heure de sédimentation, des échantillons du surnageant ont été prélevés afin de déterminer leurs teneurs en MES, DBO₅ et P_{total}. Des échantillons d'eau homogénéisée et sans sédiments ont été aussi analysés afin d'établir un bilan de masse permettant de déterminer l'enlèvement des polluants après une heure de sédimentation.

Les teneurs initiales et finales en MES, DBO₅ et P_{total} pour les trois types d'eau de lavage analysés ont été très variables comme l'illustrent respectivement les figures 12, 13 et 14. Le tableau 22 présente également les pourcentages d'enlèvement après 1 heure de sédimentation. Après une heure de sédimentation, les MES ont présenté un taux d'enlèvement élevé pour les trois types d'eau, spécialement pour les systèmes A-N et S-C. Dans le cas de la DBO₅, tous les types d'eau ont eu un taux d'enlèvement semblable. L'enlèvement du P_{total} a par contre varié énormément selon le type d'eau, avec un taux très faible pour L-P. Ce faible taux est probablement relié à la présence du P soluble.

² Dilek *et al.*, 2003. Water savings and sludge minimization in a beet-sugar factory through re-design of the wastewater treatment facility. *Journal of Clearer Production* 11(3): 327-331.

³ Wilson, 1985. Is there grit in your sludge? *Civil Engineering-ASCE* 55(4):61-63.

Ces résultats démontrent qu'une unité de sédimentation est capable de réduire d'au moins 50% la teneur initiale de MES et de 20% celle de la DBO₅. Dans le cas du P_{total}, le taux d'enlèvement est fonction de la concentration initiale et de la forme du P.

La vitesse de sédimentation a varié considérablement selon le type d'eau. La vitesse de sédimentation a été calculée pour les 90% de solides qui ont sédimenté pendant une heure. Pour l'argile, 90% des solides ont sédimenté en 45 minutes. Cette valeur était de 30 min pour le sable et pour le loam sableux. Les vitesses de sédimentation obtenues ont été de 0,5 m/h pour l'argile et 0,75 m/h pour le loam sableux et le sable. Avec la valeur de vitesse de sédimentation et le débit d'eau à traiter, il sera possible de calculer les dimensions que devrait avoir un bassin de sédimentation.

Tableau 22. Analyse des échantillons de terre séparée des légumes.

Identification de l'échantillon (type de sol – légume)	MES (mg/L)			DBO ₅ (mg/L)			P _{total} (mg/L)		
	initial	final	%*	initial	final	%*	initial	final	%*
Argile-navet	1405.5	376.5	73.2	235	170	27.7	9.1	4.6	49.4
Loam sableux-panais	76	40.5	46.7	13.5	10	25.9	1.65	1.61	2.2
Sable-carottes	2859	724	74.7	140	110	21.4	6.8	2.5	63.6

* Pourcentage d'enlèvement après une heure de sédimentation

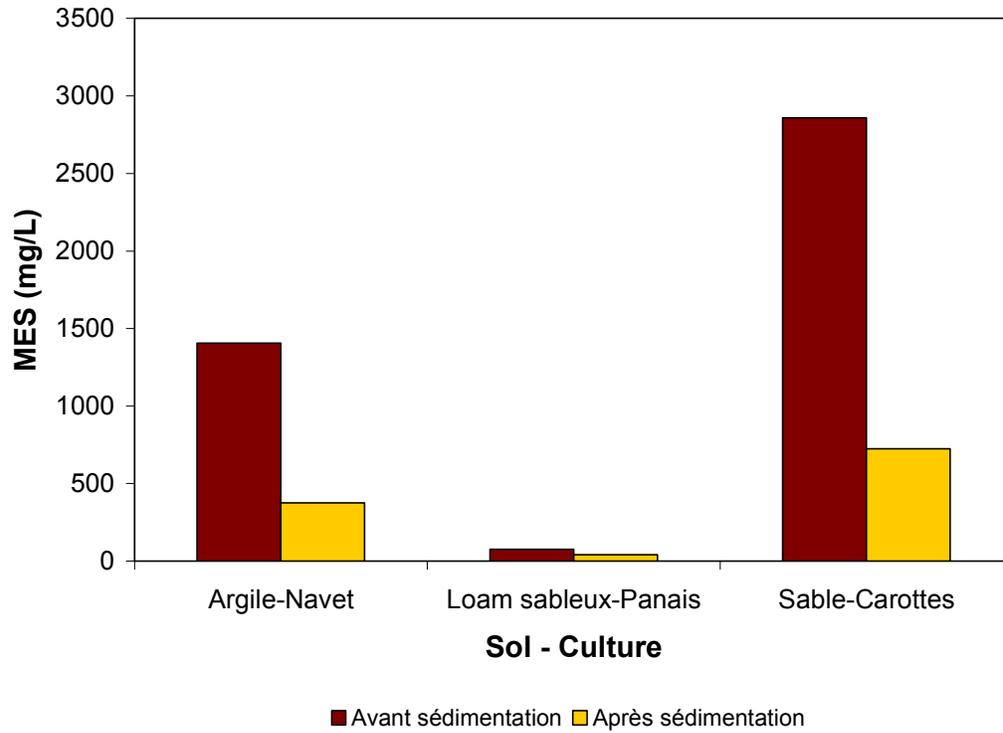


Figure 6. Teneur en MES avant et après sédimentation selon le type d'effluent.

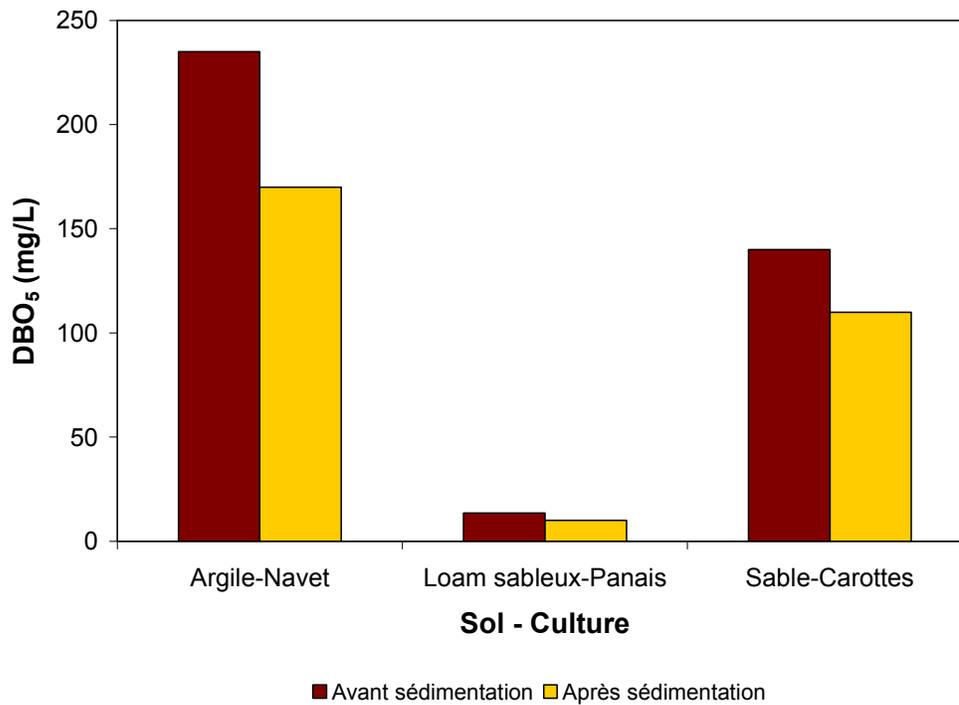


Figure 7. Teneur en DBO₅ avant et après sédimentation selon le type d'effluent.

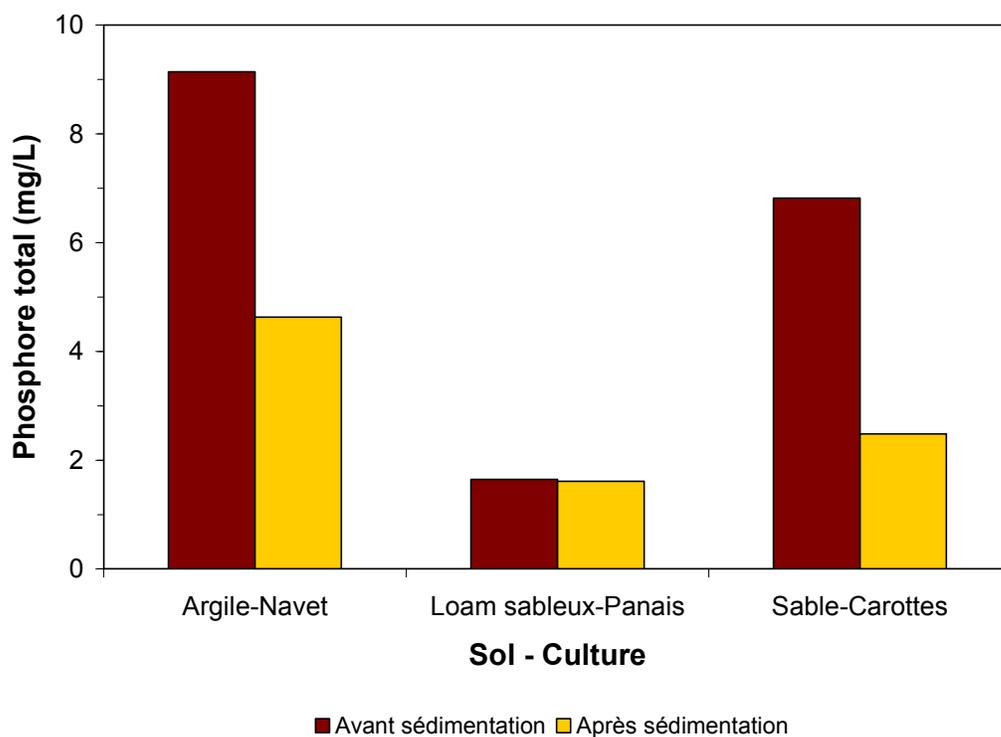


Figure 8. Teneur en phosphore total avant et après sédimentation selon le type d'effluent.

2.1.3. Traitement de la couleur par aération

L'eau usée provenant du lavage de légumes racines contient plusieurs contaminants qui doivent être enlevés avant que l'effluent soit rejeté au cours d'eau. Parmi les contaminants les plus importants se trouvent les MES, les solides sédimentables, la matière organique exprimée comme demande biochimique en oxygène (DBO₅) et la couleur.

La teneur en couleur d'un effluent dépend de plusieurs facteurs, tels le système de lavage (type et efficacité de la machinerie), le type de sol et de légumes, ainsi que le débit d'eau de lavage. La couleur de l'eau est donnée par des molécules qui absorbent une certaine longueur d'onde du spectre visible. Ces molécules proviennent du sol et des légumes racines. L'intensité de la couleur est définie par la concentration du pigment et aussi par la présence de particules fines en suspension qui reflètent la lumière et donnent l'impression d'avoir une teneur en pigment plus élevée que la réelle. Ce phénomène affecte la détermination de la couleur par des méthodes traditionnelles, telle la spectrophotométrie.

Le cas de la couleur rouge provenant des betteraves (bétanine) est d'intérêt particulier parce que cette couleur est très stable aux conditions des systèmes de traitement d'eau : température en dessous de 20°C, pH autour de 7 et faible disponibilité d'oxygène dissous. Diverses études indiquent que la bétanine se dégrade facilement à des températures près du point d'ébullition ou à un pH alcalin. Certaines études montrent que l'oxygène et la lumière peuvent avoir un impact sur la stabilité de la bétanine.

2.1.3.1. Essais en laboratoire à partir du jus de betteraves et de la bétanine

Ces essais ont pour objectif d'analyser l'effet de la lumière et l'aération sur la vitesse de dégradation de la bétanine (pigment principal de la betterave) sous des conditions semblables à celles des effluents provenant de systèmes de lavage. À cet effet, une solution de betterave a d'abord été préparée en diluant du jus de betterave (extrait de betteraves fraîches) dans l'eau du robinet préalablement entreposée à l'air libre afin d'éliminer les résidus de chlore. L'intensité de la coloration a été mesurée par spectrophotométrie en déterminant l'absorbance à 400 nm pour l'évaluation de la couleur vraie ainsi qu'à 535 nm pour la coloration associée aux pigments de betterave.

Le montage expérimental était constitué de douze cylindres de PVC de 15 cm de diamètre interne et d'un volume total de 15 L (voir figure 9). De l'air ambiant a été injecté au fond de chaque cylindre en utilisant une pompe et des diffuseurs. L'air était pompé vers un groupe de débitmètres afin de contrôler le taux d'aération, variant entre 0 et 0,2 litres d'air par litre d'eau par minute (L air/L eau-min).

Dans la première étape des essais, 100 mL de jus de betterave et 10 L d'eau ont été ajoutés à chaque cylindre. Six taux d'aération ont été testés en duplicata : 0, 0,04, 0,08, 0,12, 0,16 et 0,2 L air/L eau-min. Les essais ont été conduits pendant quatre jours sans lumière à une température ambiante de 20°C. L'oxygène dissous de chaque réacteur a été mesuré à chaque jour en utilisant une sonde portative.

Dans la seconde étape de l'étude, l'effet de la lumière sur la dégradation de la couleur a été testé en utilisant deux lampes fluorescentes (lumière du jour) qui illuminaient en tout temps les six cylindres (figure 10). L'autre groupe de six cylindres était dans l'obscurité. Afin d'éliminer les interférences causées par la croissance microbienne quand le jus de betterave a été utilisé, la seconde étape a été réalisée en utilisant de la bétanine en poudre. Les cylindres contenaient 10 L d'eau distillée et colorée avec la bétanine. Pour chaque mode d'illumination, trois taux d'aération en duplicata ont été testés : 0, 0,04, et 0,12 L air/L eau-min, lesquels ont été choisis suite aux résultats obtenus dans la première étape. L'essai a été conduit pendant quatre jours à une température ambiante de 20°C. L'oxygène dissous de chaque réacteur a également été mesuré à la fin des expériences en utilisant une sonde portative.

Pour tous les essais, des échantillons de 10 mL de solution ont été pris dans chaque réacteur à 24 heures d'intervalle. Les échantillons ont été centrifugés à 3000 rpm pendant dix minutes. Le surnageant a été récupéré et utilisé pour faire le suivi de la couleur par absorbance dans un spectrophotomètre aux longueurs d'onde de 400 nm et 535 nm.

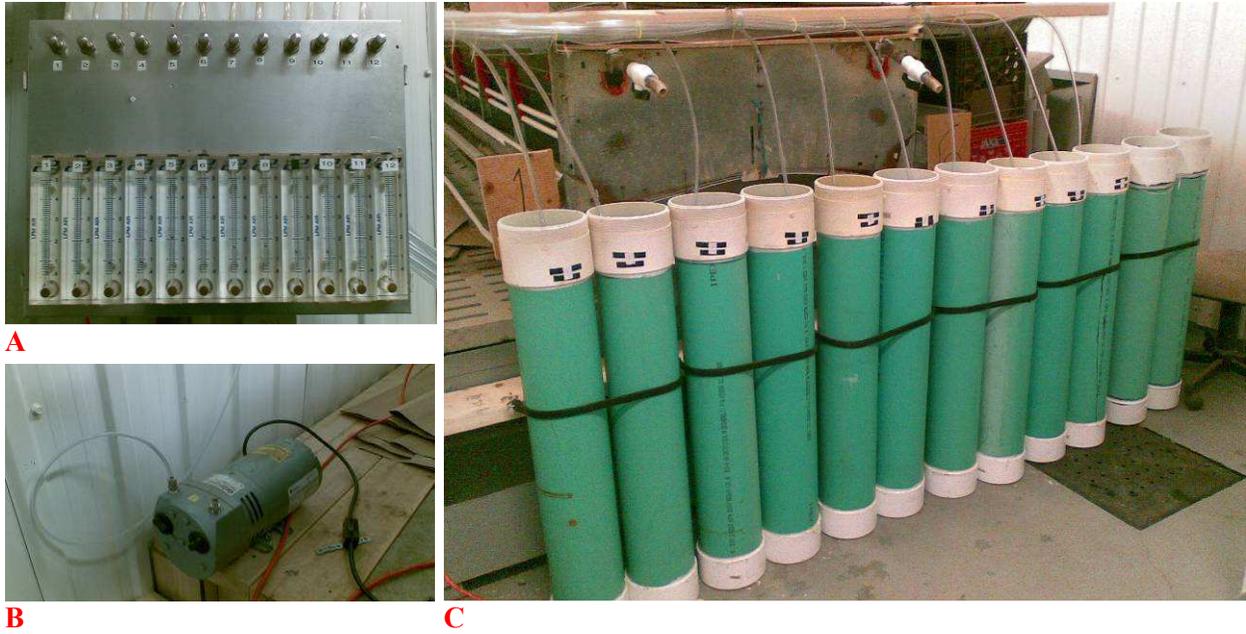


Figure 9. Montage expérimental du système d'aération pour le traitement de la couleur de betterave (C). Les débitmètres utilisés sont montrés en A et la pompe en B.



Figure 10. Montage expérimental du système d'aération pour tester l'effet de la lumière sur la dégradation de la couleur de betterave.

Le comportement de la couleur est représenté à la figure 11 pour les absorbances de 400 (couleur vraie) et 535 nm (pigment rouge). À 400 nm, l'absorbance a augmenté pendant les premiers 24 heures pour ensuite diminuer pour tous les taux d'aération, sauf pour les réacteurs sans air, pour lesquels l'absorbance a continué à augmenter. À 535 nm, l'absorbance a diminué pour tous les réacteurs aérés selon la même tendance, atteignant environ 80% de dégradation de la couleur. Les réacteurs sans aération ont présenté aussi une diminution de l'absorbance, quoique plus légère, atteignant environ 20% de la valeur initiale.

Les conditions d'opération ont favorisé la croissance microbienne aérobie dans les réacteurs aérés. La présence d'un biofilm qui flottait ou couvrait les tuyaux d'aération et les diffuseurs confirme cette croissance. Les réacteurs sans aération ont également présenté une faible croissance microbienne, mais dans ce cas, l'odeur de la solution à la fin des expériences suggérait une fermentation alcoolique anaérobie. La faible dégradation dans les réacteurs sans aération était en accord avec des données de la littérature indiquant que la bétanine est stable sous conditions anaérobiques. Les mesures d'oxygène dissous indiquent que la valeur a été d'environ 8 mg O₂/L pour tous les taux d'aération, pendant qu'il a été de seulement 0,3 mg O₂/L pour les réacteurs sans aération. Ces données confirment qu'il y a eu de la fermentation anaérobie dans les réacteurs sans aération.

Les résultats de cette première étape montrent qu'avec une légère aération, soit un taux d'aération de 0,04 Lair/Leau-min, la couleur vraie peut être maintenue proche de sa valeur initiale, alors que la couleur rouge de la betterave est dégradée d'environ 80%. La variation du débit d'air a eu peu d'effet sur la dégradation des deux couleurs, vraie et rouge. La figure 12 présente l'effet de l'aération sur la couleur finale du mélange de jus de betterave selon les différents taux d'aération.

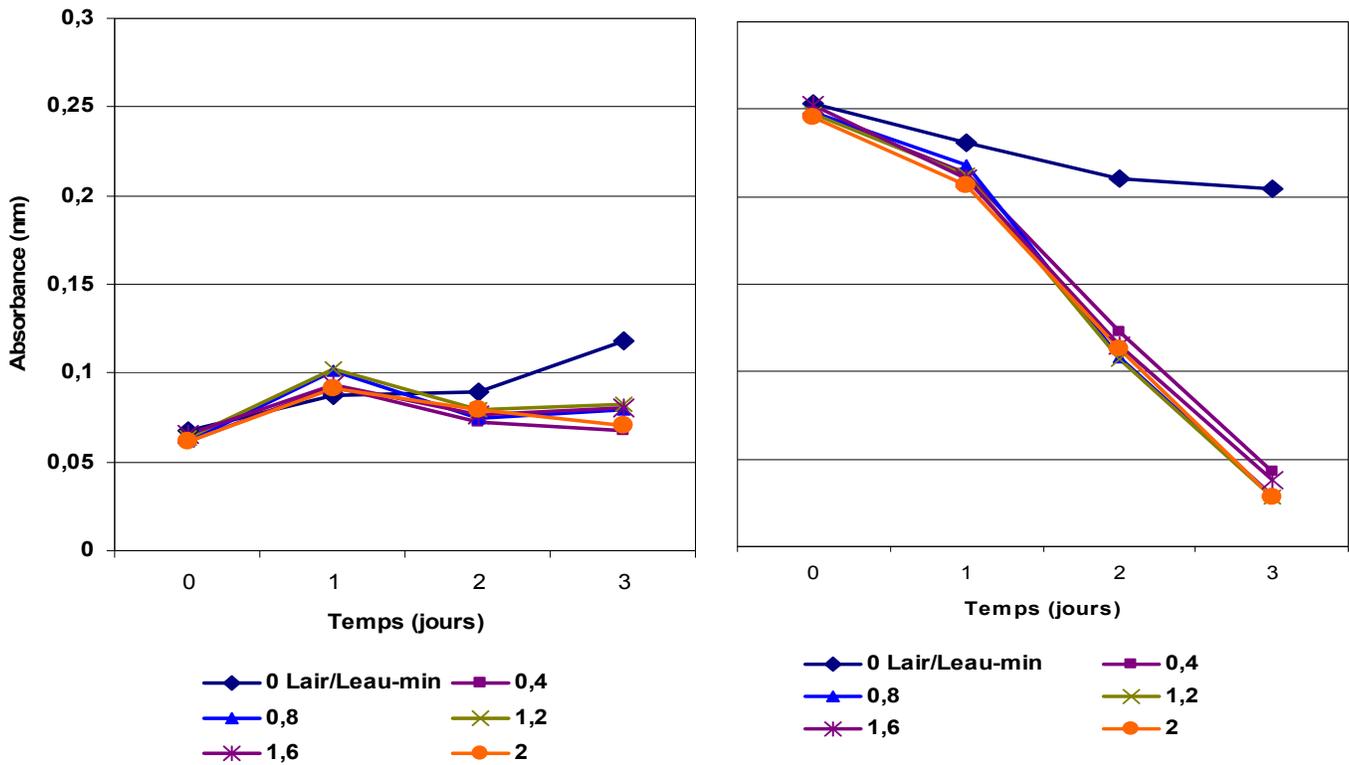


Figure 11. Variation de la couleur du mélange de jus de betteraves en fonction du temps à 400 nm (gauche) et à 535 nm (droite).

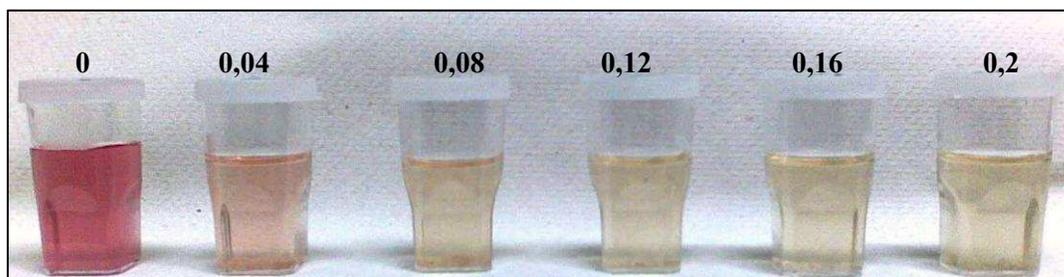


Figure 12. Échantillons pris à la fin des expériences pour le traitement de la solution de jus de betteraves aux différents taux d'aération (en Lair/Leau-min).

Les résultats des essais avec la bétanine en poudre avec et sans lumière sont présentés à la figure 13 pour les absorbances à 400 et 535 nm. Pour les mesures à 400 nm, l'absorbance a toujours augmenté pour tous les réacteurs. Les réacteurs illuminés et aérés ont présenté une augmentation de la couleur plus faible que les réacteurs non illuminés. Par contre, pour les réacteurs illuminés et non aérés l'augmentation de la couleur a été plus élevée que les réacteurs sans illumination. Ces derniers ont présenté l'augmentation la plus élevée, soit de 415%.

Dans le cas des mesures à 535 nm, les tendances ont été semblables à celles à 400 nm, sauf que les pourcentages d'augmentation de la couleur ont été plus faibles. L'augmentation la plus élevée a été de 30% et a été observée dans les deux réacteurs aérés et sans lumière. Par contre, quand les réacteurs aérés ont été illuminés, la couleur a augmenté légèrement pendant les deux premiers jours, et lors de la troisième journée, les réacteurs avaient commencé à dégrader lentement la couleur.

Il faudrait mentionner que la valeur initiale de l'absorbance a été plus petite pour la première étape, soit 0,01 à 400 nm et 0,04 à 535 nm. De plus, la bétanine en poudre était mélangée avec de la dextrine, un oligosaccharide susceptible d'être consommée par des microorganismes. L'injection de l'air ambiant non filtré pourrait avoir agi comme source de contamination microbienne introduisant des microorganismes qui se sont développés par la suite. Ces microorganismes ont dégradé surtout la dextrine en sous-produits capables d'absorber la lumière aux deux longueurs d'ondes utilisées dans cette étude (400 nm et 535 nm). Cette hypothèse est supportée par la stabilité des lectures d'absorbance à 535 nm pendant les deux premiers jours. Les résultats suggèrent que la lumière a eu un faible effet sur la dégradation de la bétanine. Dans cette étape, la croissance microbienne a été beaucoup plus faible que dans la première étape, parce que l'utilisation d'eau distillée et le pigment en poudre ont apporté peu de nutriments aux microorganismes. Les valeurs finales d'oxygène dissous ont été semblables à celles de la première étape, soit d'environ 8,5 mg O₂/L pour tous les taux d'aération et de moins de 0,5 mg O₂/L pour les réacteurs sans aération.

Les résultats obtenus en utilisant du jus de betterave et de la bétanine en poudre permettent de conclure que la dégradation de la couleur rouge en utilisant du jus de betterave se fait principalement par des microorganismes aérobies et non par un effet oxydatif de l'aération. L'étude démontre aussi que la lumière a un effet léger sur la dégradation de la couleur rouge. Dans le cas de la couleur vraie, il apparaît que les composés qui donnent la couleur rouge sont transformés en composés qui augmentent la valeur de l'absorbance pour déterminer la couleur vraie. Finalement, il n'y a pas eu d'observation de tendances qui permettent de conclure à une interaction entre l'aération et l'illumination pour la dégradation des couleurs rouge et vraie.

Tel que mentionné précédemment, la magnitude du débit d'aération n'a pas eu d'effet sur la dégradation des couleurs vraie et rouge. Le plus important dans le cas de la dégradation microbienne est de maintenir

un niveau d'oxygène dissous dans l'eau. Il est également probable qu'un taux inférieur à 0,04 Lair/Leau-min puisse être efficace à la dégradation du pigment. Le temps d'aération recommandé doit être d'au moins 2 jours, afin de permettre aux microorganismes de dégrader la couleur et que la valeur revienne près de la valeur initiale.

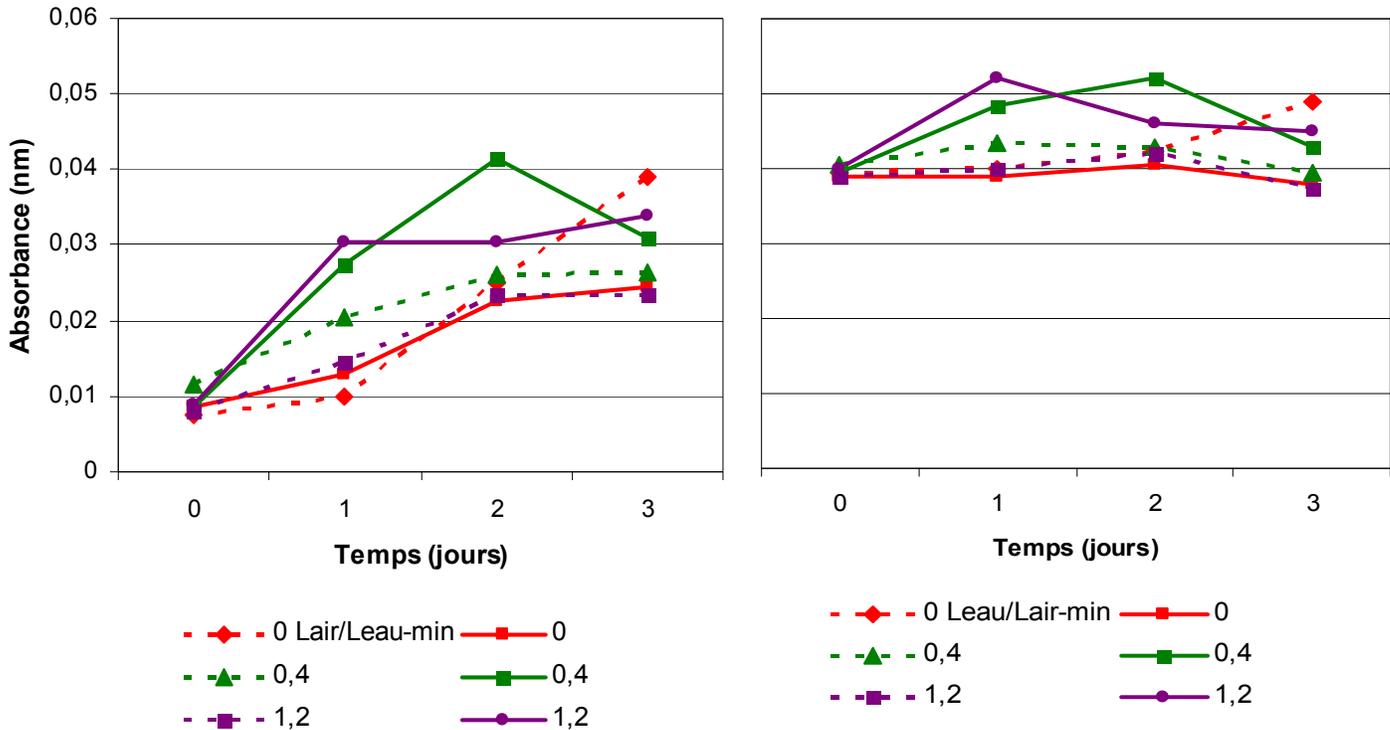


Figure 13. Variation de la couleur du mélange de bétanine en fonction du temps à 400 nm (gauche) et à 535 nm (droite). Les lignes pleines présentent les résultats sans lumière alors que les lignes pointillées présentent les résultats avec lumière.

2.1.3.2. Essais en bassins de 1000 litres

Trois essais d'aération en bassins de 1000 litres ont été effectués, dont deux chez un producteur agricole laveur de betteraves et un à la ferme expérimentale de l'IRDA à St-Bruno-de-Montarville. Les principales caractéristiques d'expérimentation sont présentées au tableau 23 pour les trois essais. Chez le producteur agricole, les bassins ont été remplis jusqu'à une hauteur de 50 cm d'eau de lavage de betteraves pompée à la sortie de la laveuse pour un volume approximatif de 500 litres par bassin. Les 6 bassins ont été installés au soleil à proximité d'une prise électrique pour le fonctionnement de la pompe employée pour le système d'aération (voir figures 14 et 15). L'absorbance a été mesurée à plusieurs longueurs d'onde entre 400 et 675 nm. Les résultats présentés dans ce rapport concernent l'absorbance à 400 (couleur vraie), à 465 nm (absorption du rouge) et à 540 nm (bétanine) sur des échantillons de 250 mL prélevés à différentes reprises dans chaque bassin. La température et l'oxygène dissous ont également été mesurés à chaque fois à l'aide d'une sonde portative. Les résultats d'absorbance pour les essais 1 et 2 sont présentés aux figures 16 et 18, respectivement. Les figures 17 et 19 illustrent quant à elles les échantillons prélevés dans les 6 bassins lors du dernier échantillonnage pour les essais 1 et 2, respectivement.

Tableau 23. Caractéristiques des essais d'aération faits en bassins.

Essai	Lieu	Durée (jours)	Volume par bassin (L)	Débit d'air (Lair/min)	Taux d'aération (Lair/Leau-min)
1	Entreprise agricole	4	500	10	0,02
2	Entreprise agricole	6	500	5	0,01
3	IRDA	5	1000	0,4	0,0004



Figure 14. Dispositif présentant les 6 bassins de 1000 litres chez le producteur agricole.

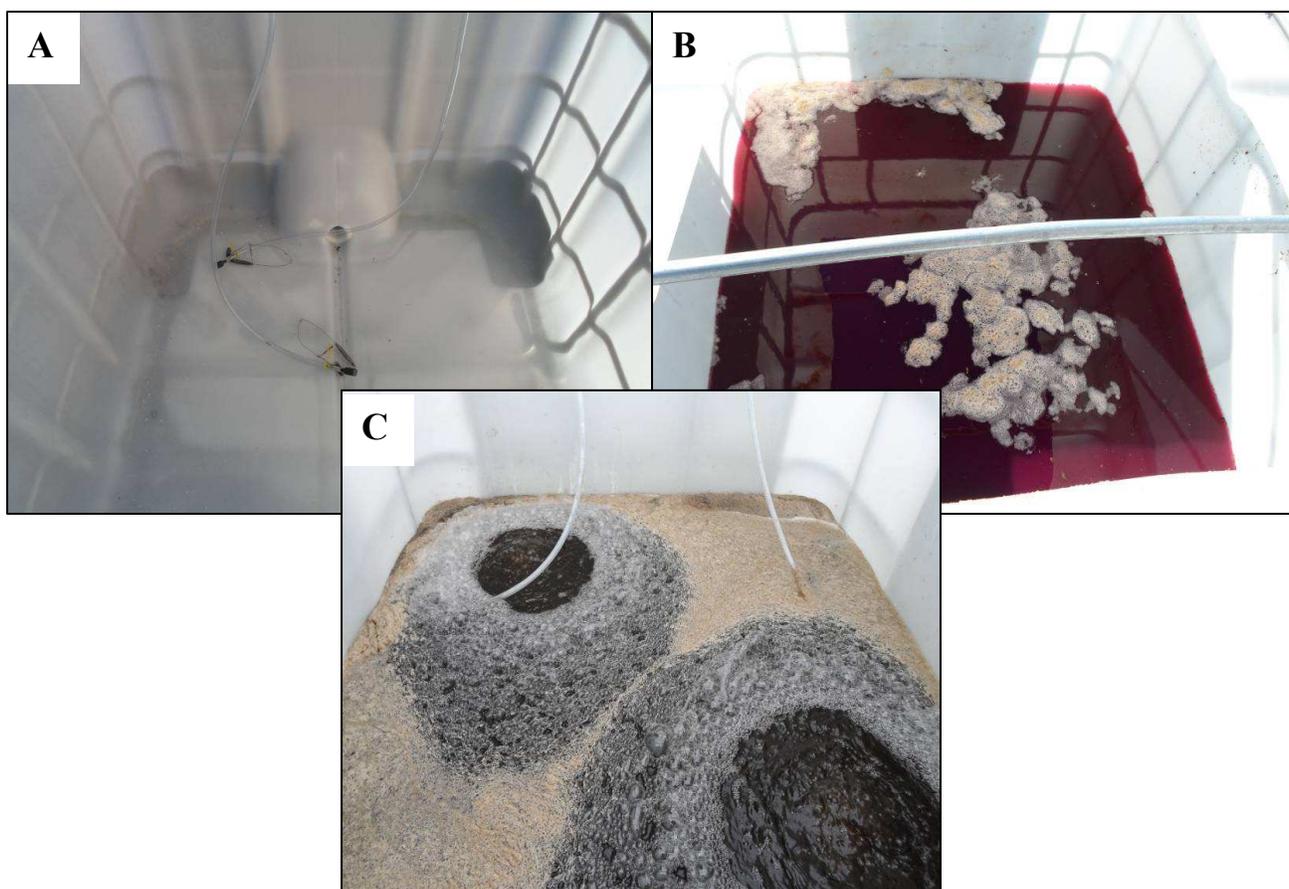


Figure 15. Diffuseurs d'air utilisés lors de l'essai du traitement de la couleur en bassins de 1000 litres (A). Contenu d'un bassin d'eau de lavage de betteraves avant le début de l'aération. (B) et exemple du contenu d'un bassin d'eau de lavage de betteraves durant l'aération au taux de 0,02 L air/Leau .min (C).

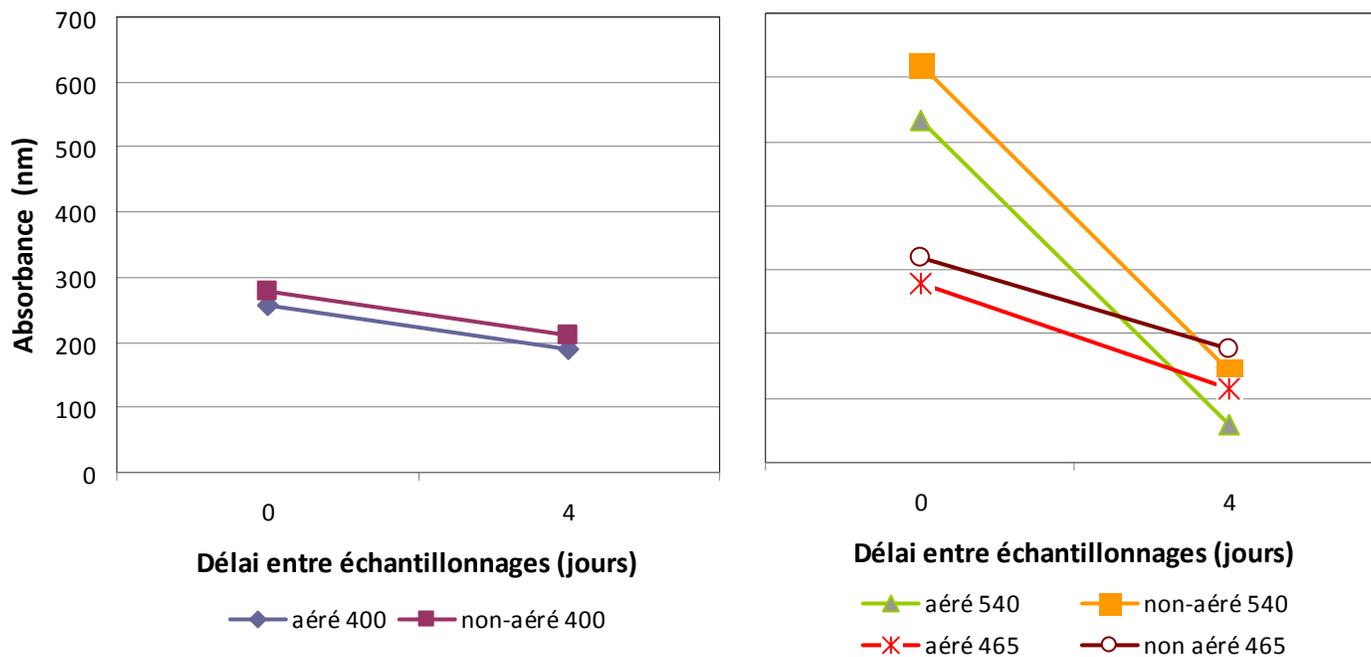


Figure 16. Variation de la couleur vraie (400 nm) à gauche, rouge (465 nm) et de la bétanine (540 nm) à droite dans les bassins en fonction du temps pour un taux d'aération de 0,02 Lair/Leau-min.



Figure 17. Échantillons prélevés 4 jours après le début de l'aération dans chacun des bassins lors de l'essai 2. Les échantillons 1(A,B,C) sont non aérés et 2(A,B,C) étaient aérés au taux de 0,02 Lair/Leau-min.

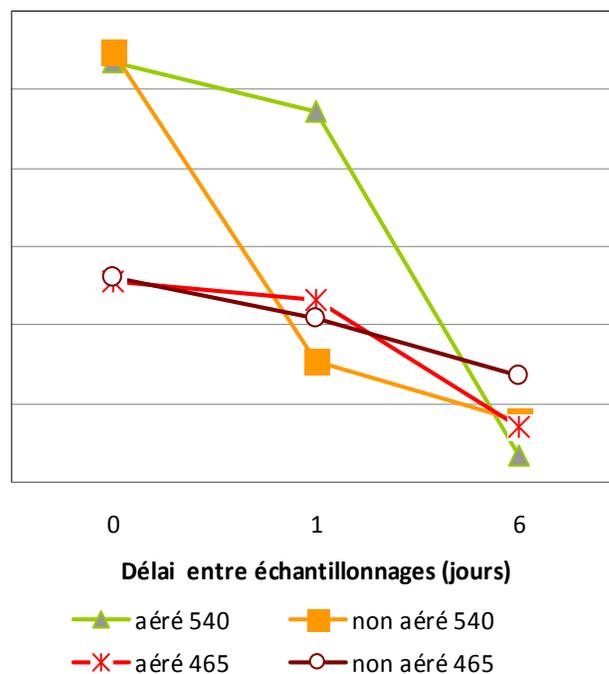
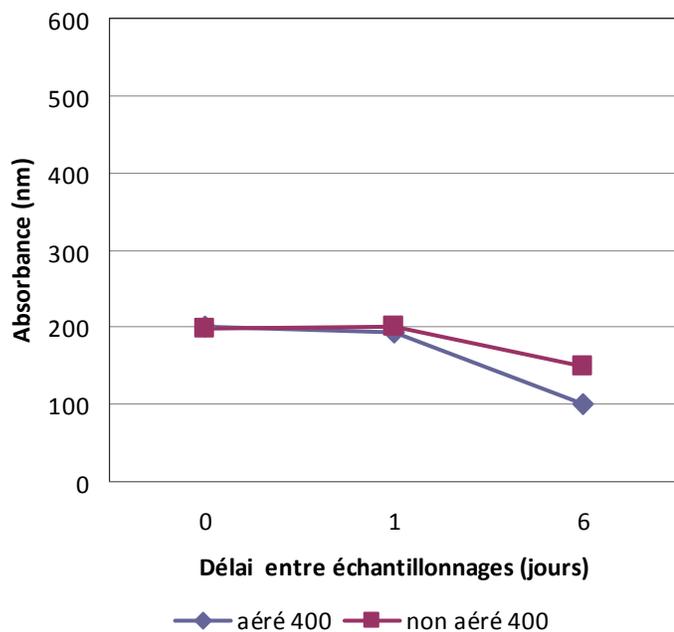


Figure 18. Variation de la couleur vraie (400 nm), rouge (465 nm) et de la bétanine (540 nm) dans les bassins en fonction du temps pour un taux d'aération de 0,01 Lair/Leau-min.

Jour 1



Jour 6



Figure 19. Échantillons prélevés 1 et 6 jours après le début de l'aération dans chacun des bassins lors de l'essai 2. À partir de la gauche, les échantillons sont en alternance non aérés et aérés. Le taux d'aération pour cet essai est de 0,01 Lair/Leau-min.

Le troisième essai d'aération a eu lieu au centre de recherche de l'IRDA de Saint-Bruno-de-Montarville. Les 6 bassins ont d'abord été remplis avec l'eau de l'aqueduc pour atteindre des volumes approximatifs de 950 litres par bassin. Un délai de 24 heures de stagnation a ensuite été respecté afin que le chlore puisse s'évaporer. Un autre bassin contenant 300L d'eau a également été utilisé pour effectuer la solution colorée à la betterave. Pour ce faire, 69 kg de betteraves ont été tranchées et mises dans le bassin (figure 20). Suite à l'obtention de la couleur désirée, l'eau colorée a été répartie de manière égale dans les 6 bassins (figure 21). Des échantillons de 250 mL ont été prélevés dans chaque bassin avant le départ de l'aération, puis 1, 2, 3 et 5 jours après (figure 22). Le système d'aération a été installé afin que les 3 bassins aérés reçoivent 0,0004 Lair/Leau-min., soit la capacité minimale du système. La variation de la couleur pour cet essai est présentée à la figure 23.

Les résultats de cet essai suggèrent une diminution de l'absorbance beaucoup plus faible que lors des autres essais. Par contre, l'intensité de la couleur au départ était également beaucoup moins importante. Une diminution de la couleur associée à la bétanine (à 540 nm) à partir du 2^e jour d'aération est tout de même visible, ce qui laisse présager une bonne efficacité du système même à une faible coloration.



Figure 20. Bassin de 300 litres d'eau contenant 69 kg de betteraves tranchées pour simuler l'eau de lavage de betteraves.



Figure 21. Dispositif des 6 bassins au centre de recherche de l'IRDA pour l'essai 3.

Avant aération



Jour 5

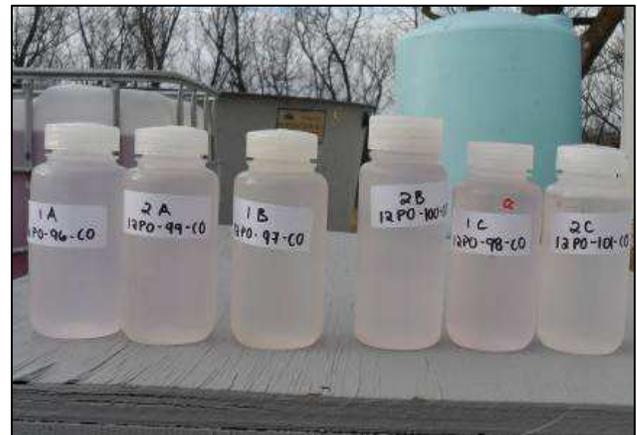


Figure 22. Échantillons prélevés avant et 5 jours après le début de l'aération dans chacun des bassins lors de l'essai 3. À partir de la gauche, les échantillons sont en alternance non aérés et aérés. Le taux d'aération pour cet essai est de 0,0004 Lair/Leau-min.

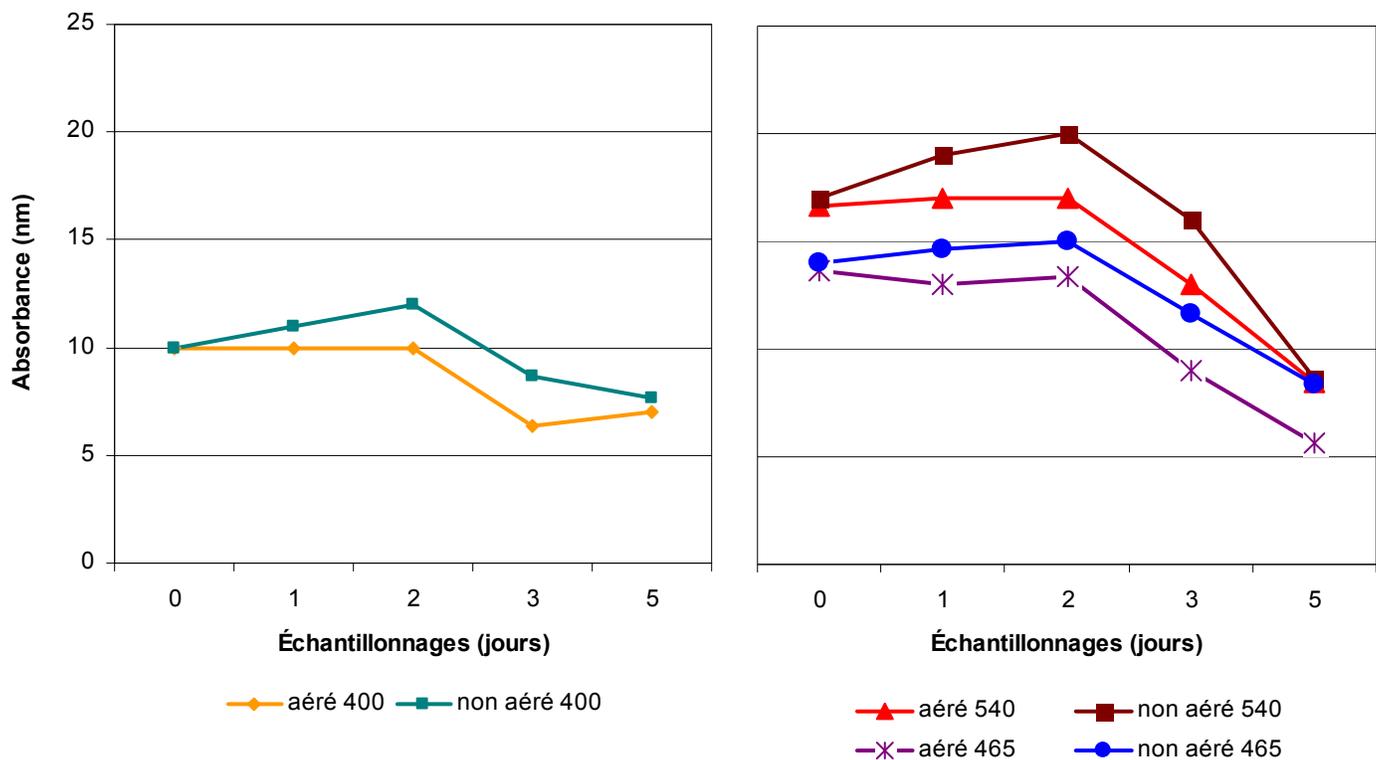


Figure 23. Variation de la couleur vraie (400 nm) à gauche, rouge (465 nm) et de la bétanine (540 nm) dans les bassins en fonction du temps pour un taux d'aération de 0,0004 Lair/Leau-min.

De façon générale, l'aération a permis de dégrader la couleur associée à la betterave (données à 535 ou 540 nm) à partir du 2^e jour d'aération. Les essais en laboratoire avaient également suggéré la même tendance. Par contre, la couleur vraie (données à 400 nm) est soit demeurée constante ou a augmenté dans le temps.

Il est intéressant de noter que l'intensité de la couleur avant le début de l'aération est beaucoup plus élevée lors des essais 1 et 2 en bassins de 1000 litres que lors des essais en laboratoire ainsi que de l'essai 3 en bassins. En effet, l'absorbance moyenne des échantillons prélevés au début des essais en laboratoire variait autour de 0,07 nm, et environ 14 nm pour l'essai 3 en bassins, alors qu'elle s'élevait à environ 400 nm en bassins de 1000 litres. Ces observations peuvent notamment s'expliquer par le fait que les essais en laboratoire et l'essai 3 en bassins ne comportaient que de l'eau mélangée avec des betteraves lavées ou de la bétanine. Ainsi, très peu de solides en suspension provenant de résidus de sol étaient présents, à l'opposé des essais 1 et 2 en bassins, où les effluents étudiés provenaient directement de la laveuse et contenaient beaucoup de matières en suspension issues du sol. Bien que l'impact du sol sur la coloration soit non-négligeable avec la méthode d'analyse utilisée, le pigment rouge s'est dégradé dans tous les cas.

Il est important de noter qu'il n'existe pas de critère quantitatif officiel (absorbance ou unités de couleur vraie) concernant l'intensité de la coloration de l'eau de surface et par le fait même, des effluents pouvant être rejetés dans l'environnement. Le seul critère quantitatif concerne la transparence et suggère que l'eau doit être suffisamment limpide pour qu'un disque de Secchi y soit visible à au moins 1,2 mètres de profondeur. Les critères de qualité de l'eau de surface du MDDEFPP sont plutôt qualitatifs, à savoir que toutes les eaux doivent être exemptes de substances ou matériaux provenant d'activités humaines qui,

seules ou combinées à d'autres facteurs, peuvent entraîner une couleur, une odeur, un goût, de la turbidité ou toute autre condition à un degré susceptible de nuire à quelque usage du cours d'eau (MDDEP, 2002)⁴.

À titre comparatif, il est possible de dresser le portrait de la situation en se fiant aux critères de couleur pour l'eau potable. En effet, la couleur vraie de l'eau potable ne doit pas excéder 15 UCV (unités de couleur vraie). Les essais en laboratoire ont permis d'établir une courbe standard concernant le pigment de la betterave, de façon à transposer les données d'absorbance à 400 nm en unités de couleur vraie et ainsi comparer avec les critères existants. De cette manière, l'absorbance maximale que doit avoir l'eau de lavage de betterave pour correspondre à 15 UCV (eau potable) est de 13 nm (absorbance à 400 nm). Bien que les données issues des essais en laboratoire ainsi que de l'essai 3 en bassins soient généralement toutes en deçà de cette valeur, la situation est bien différente lors des essais 1 et 2 en bassins. La nature même des effluents étudiés pourrait expliquer ces observations, puisque ceux-ci contenaient beaucoup de matières en suspension qui ont eu un impact sur la détermination de la couleur vraie. Il est donc logique de croire que si la chaîne de traitement de l'eau de lavage de betteraves est efficace pour enlever les matières en suspension, l'aération est envisageable pour traiter la couleur rouge.

⁴MDDEP, 2002. Critères de qualité de l'eau de surface. Disponible au http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/descriptifs.htm

2.2. Diffusion des résultats

Le tableau suivant présente les activités de diffusion réalisées durant le projet.

<i>Activités prévues de l'ANNEXE A</i>	<i>Activités réalisées</i>	<i>Description (thème, titre, endroit, etc.)</i>	<i>Date de réalisation</i>	<i>Nombre de personnes rejointes</i>	<i>Visibilité accordée au PCAA (logo, mention)</i>
Publication d'un article dans le journal <i>Primeurs</i>	Publication d'un article dans le journal <i>Producteur Plus</i>	Lavage des légumes racines – une question d'environnement	Mai 2012	3000	mention
Publication d'un article dans le journal <i>Primeurs</i>	Publication d'un article dans le journal <i>Primeurs</i>	Le lavage des légumes racines, c'est aussi une question d'environnement	Janvier 2012	3000	logo
Présentation des résultats du projet	Journées horticoles de St-Rémi	Lavage des légumes et environnement : où en sommes-nous?	8 décembre 2011	50	Logo et mention
Présentation des résultats du projet	Les Journées agricoles et agroalimentaires de Montréal-Laval-Lanaudière	Irrigation et lavage des légumes : préserver la ressource eau	26 janvier 2011	50	Logo et mention
Présentation des résultats du projet	Les Journées agricoles et agroalimentaire de Montréal-Laval-Lanaudière	Mise à jour des activités sur la gestion environnementale de l'eau issue du lavage des légumes	30 janvier 2013	50	Logo et mention
Publication d'une fiche technique	Publication d'une fiche technique mettant en relief l'efficacité et la faisabilité des solutions évaluées	Proposition de solutions intégrées pour une gestion durable des eaux de lavage de légumes	4 février 2013	-	Logo du CDAQ

3. CONCLUSIONS

Les bilans massiques ainsi que les essais de sédimentation ont permis d'acquérir des connaissances sur le dimensionnement des bassins de sédimentation requis, tout en mettant l'accent sur l'intérêt d'enlever le plus de particules de sol possible sur les produits dans les sections à sec de la chaîne de lavage. Les essais du traitement de la couleur par l'aération supportent tout à fait l'idée d'essayer à l'échelle de la ferme un système d'aération des bassins de sédimentation. Les projets pilotes prévus en 2013 permettront notamment de préciser les conditions optimales d'enlèvement des particules de sol à sec, d'optimiser le lagunage chez les entreprises en terres minérales et de cibler des options de traitement de l'eau sortant de la laveuse.

4. SOMMAIRE DES ACCOMPLISSEMENTS DU PROJET

Le lavage des légumes racines peut générer de grands volumes d'eau contenant certains éléments qui peuvent déstabiliser l'écosystème lorsque rejetés dans l'environnement. Afin de se conformer aux exigences gouvernementales, la Fédération des producteurs maraîchers du Québec, en collaboration avec l'IRDA, a initié une étude en 2009 qui vise à caractériser les effluents issus du lavage des légumes racines et à proposer des interventions permettant d'améliorer la qualité des rejets. Les travaux ont permis de mettre en lumière certaines interventions qui devraient être considérées dans la gestion de l'eau de lavage, soit : optimiser l'enlèvement des particules de sol à sec avant le lavage à l'eau (dessablage), optimiser la quantité d'eau utilisée lors du lavage, assurer un dimensionnement adéquat des bassins de sédimentation et favoriser le contrôle de la couleur du rejet.

Pour y arriver, des bilans massiques ont été effectués dans des entreprises agricoles afin de connaître les quantités de particules de sol retirées par kilogramme de légumes, tout en mesurant l'efficacité du dessablage. Il a notamment été démontré que le dessablage permettait d'enlever jusqu'à 88 % des particules de sol présentes sur les légumes avant leur entrée dans la laveuse. Des données de sédimentation des matières en suspension présentes dans les eaux de lavage ont par la suite été prises pour différents types de sol et permettront d'aménager les bassins de sédimentation. Outre leur potentiel de sédimentation, les bassins pourraient servir au traitement de la couleur rouge des eaux issues du lavage de la betterave s'ils sont aérés. Les essais en laboratoire et en bassins de 1000 litres ont en effet été concluants à ce sujet. De façon générale, l'aération a permis de dégrader la couleur rouge issue du pigment de la betterave à partir du 2^e jour d'aération.

Les bilans massiques ainsi que les essais de sédimentation permettront un meilleur dimensionnement des bassins de sédimentation, tout en mettant l'accent sur l'intérêt d'enlever le plus de particules de sol sur les produits par le dessablage à sec avant le passage dans la laveuse. Les résultats indiquent que l'aération possède un potentiel d'efficacité suffisant pour en justifier l'essai à l'échelle de la ferme. Ainsi, les données permettront de bien cibler les interventions à préconiser en projets pilotes à la ferme en 2013.

5. PLAN DE FINANCEMENT ET CONCILIATION DES DÉPENSES

Les documents demandés sont joints à l'envoi du présent rapport.