



TRAITEMENT DE L'EAU DE LAVAGE DES LÉGUMES
POUR PERMETTRE LE RECYCLAGE DE L'EAU

.....
RICHARD G. ZYTNER ET KEITH WARRINER, UNIVERSITÉ DE GUELPH

Recherche réalisée en 2013-2014



Réseau
canadien
de l'eau

TRAITEMENT DE L'EAU DE LAVAGE DES LÉGUMES POUR PERMETTRE LE RECYCLAGE DE L'EAU

RICHARD G. ZYTNER ET KEITH WARRINER, UNIVERSITÉ DE GUELPH
Recherche réalisée en 2013-2014

POURQUOI AVONS-NOUS RÉALISÉ CETTE RECHERCHE?

La transformation des fruits et légumes requiert de grands volumes d'eau potable, que ce soit pour le transport des produits, l'enlèvement de la terre et des contaminants provenant des champs ou pour l'assainissement. Au cours des dernières années, les normes concernant la qualité de l'eau rejetée dans les réseaux municipaux ou dans l'environnement sont devenues de plus en plus strictes. En Ontario, les solides produits pendant la transformation des fruits et légumes doivent se conformer à la *Loi de 2002 sur la gestion des éléments nutritifs*¹ pour l'épandage terrestre, afin de prévenir le lessivage de concentrations excessives d'azote et de phosphate dans les cours d'eau. De plus, comme certaines usines de transformation des fruits et légumes ne sont pas reliées au réseau municipal, elles doivent donc voir au transport aller-retour de leur eau. Compte tenu des préoccupations environnementales, des coûts et de la logistique, il y a réel besoin d'améliorer la gestion de l'eau en y intégrant, entre autres facteurs, des technologies de traitement et recyclage des eaux usées. Toutefois, on connaît peu de choses sur les caractéristiques physiques et chimiques des eaux usées produites lors des diverses opérations de transformation, et par conséquent des technologies qui seraient les plus efficaces pour chaque type de culture.

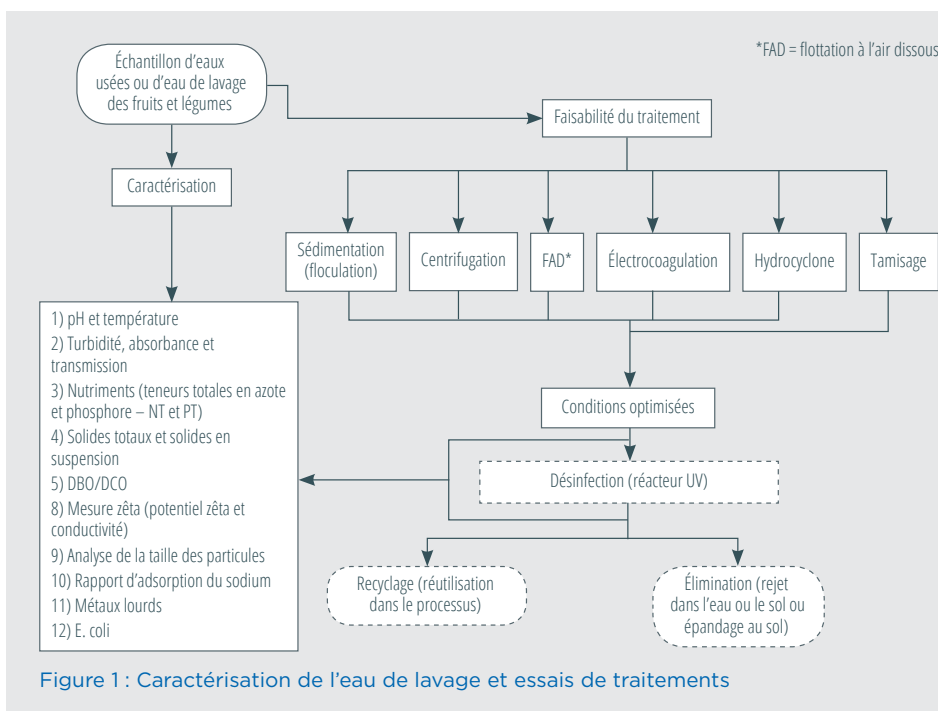


Figure 1 : Caractérisation de l'eau de lavage et essais de traitements

QU'AVONS-NOUS FAIT?

En collaboration avec les utilisateurs finaux et leurs associations professionnelles ou commerciales respectives, et avec l'assistance du ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (MAAARO), nous avons choisi 13 producteurs qui représentent une large gamme de produits agricoles (ginseng, patates douces, légumes variés, pommes de terre, carottes, pommes et légumes-feuilles). Nous avons recueilli des échantillons d'eau de lavage avant et après traitement. Étant donné la variabilité potentielle de l'eau de lavage, nous avons fait cet échantillonnage à deux ou trois reprises chez la plupart de ces producteurs. Pour quelques cultures, l'équipe de chercheurs a échantillonné de nombreux sites, une seule fois par site, pour évaluer les effets des différentes conditions, comme le type de sol.

Nous avons analysé tous les échantillons d'eau de lavage en fonction des paramètres suivants de qualité : pH, transmission, turbidité, solides totaux, solides dissous, solides totaux en suspension, conductivité, azote et phosphore, carbone organique total, nitrite, nitrate, ammoniac et demande chimique en oxygène. Nous avons utilisé les échantillons prétraitement pour effectuer les essais de faisabilité du traitement (Figure 1) afin de déterminer les méthodes de traitement les plus efficaces en fonction de divers facteurs, notamment du type de produit agricole. Ces essais comprenaient la floculation, la sédimentation par coagulation, la centrifugation, la flottaison à l'air dissous, l'électrocoagulation ou la séparation par hydrocyclone, suivie par

une désinfection avec UV. En comparant les valeurs brutes de l'eau de lavage avec celles obtenues après traitement, l'équipe a pu évaluer l'efficacité du traitement et développer des recommandations. D'après ces résultats, les chercheurs ont conçu une matrice décisionnelle préliminaire pour aider les producteurs à choisir la technologie de traitement idéale pour eux.

L'équipe de chercheurs a également réalisé du travail à l'échelle pilote pour optimiser les conditions de fonctionnement d'une station de recyclage en continu de l'eau de lavage pour la transformation de légumes-feuilles dans une usine commerciale. Le système à l'échelle pilote comprenait une étape initiale de coagulation suivie par une filtration. Après la filtration, l'eau passait à travers une unité d'échange d'ions et elle était finalement désinfectée par UV. Le projet incluait l'évaluation des taux de bactéries afin de déterminer l'incidence du procédé sur l'innocuité des aliments.

QU'AVONS-NOUS CONSTATÉ?

Les tests de classification de l'eau de lavage ont indiqué une grande variabilité des paramètres de qualité de l'eau (Tableau 1). Les plages de mesures étaient les suivantes : turbidité, de 4 à 1 000 uTN, SS, de 43 à 12 750 mg/L, DCO, de n.d. à 12 100 mg/L, N total, de n.d. à 170 mg/L et P total TP, de n.d. à 179 mg/L. La quantité de sédiments ou de solides en suspension (SS) varie selon le produit agricole; par exemple l'eau de lavage provenant de la transformation des légumes-racines contient plus de solides que l'eau de lavage provenant des usines de transformation des pommes ou des légumes-feuilles. L'emplacement (le type de sol) influence aussi la nature des eaux usées. Par exemple, l'eau de lavage des carottes qui sont cultivées dans un sol sablonneux diffère énormément de celle des carottes cultivées dans les sols argileux de la région de Holland Marsh – c'est dans cette région que l'on obtient l'eau de lavage contenant la plus grande quantité de solides. De la même façon, la plage des données obtenues pour le paramètre de la demande chimique en oxygène (DCO) est très large, ce qui est préoccupant sur le plan environnemental puisque cela peut réduire les taux d'oxygène dans les ruisseaux et les rivières. La variation des valeurs des paramètres montre qu'une seule approche de traitement ne fonctionne pas dans toutes les situations, et que les valeurs changent avec le temps et selon l'endroit.

Dans l'ensemble, les tendances illustrées au tableau 1 montrent que des facteurs autres que le type de produit agricole doivent être pris en considération au moment de choisir la technologie appropriée de traitement de l'eau pour

permettre son recyclage. On ne saurait donc trop insister sur l'importance d'effectuer une étude de caractérisation complète et exhaustive avant de décider quelle méthode de traitement devrait être envisagée.

TURBIDITÉ	SOLIDES EN SUSPENSION	DCO	N TOTAL	P TOTAL
RVSW	RVSW	RVSW	RVSW	F
RVSW	RVSW	RVSW	RVSW	RVSW
RVSW	RVSW	RVSW	RVSW	RVSW
RVSW	RVSW	F	RVSW	F
RVSW	RVSW	RVSW	F	RVSW
RVSW	RVSW	RVSW	RVSW	RVSW
RVSW	RVSW	RVSW	RVSW	RVSW
RVSW	RVSW	RVSW	RVSW	F
RVSW	RVSW	RVSW	RVSW	RVSW
RVSW	RVSW	RVSW	RVSW	F
RVSW	RVSW	RVSW	RVSW	RVSW
RVSW	RVSW	RVSW	RVSW	RVSW
RVSW	RVSW	RVSW	RVSW	RVSW
RVSW	RVSW	RVSW	F	RVSW
RVLG	RVLG	RVSW	RVSW	RVSW
RVLG	RVLG	RVLG	RVLG	RVSW
RVLG	RVLG	RVLG	RVLG	RVLG
RVLG	RVLG	RVLG	RVLG	RVLG
RVLG	RVLG	RVLG	F	RVLG
RVLG	RVLG	RVLG	RVLG	RVSW
RVLG	RVLG	RVLG	RVLG	RVLG
F	RVLG	F	RVLG	RVLG
RVLG	RVLG	RVLG	RVLG	RVLG
RVLG	RVLG	RVLG	F	RVLG
RVLG	F	RVLG	RVLG	RVLG
F	F	F	RVLG	RVLG
F	RVLG	F	RVLG	RVLG
F	F	RVLG	RVLG	RVLG
F	F	RVLG	RVLG	RVLG

Légumes-racines – enlèvement de la terre : LR

Légumes racines et légumes-feuilles – enlèvement minimal de terre : LRLF

Fruits : F

Bleu foncé : valeurs élevées de turbidité (plus de 300 uTN); de SS et DCO (plus de 1 500 mg/L); de NT et PT (plus de 45 mg/L)

Bleu moyen : valeurs moyennes de turbidité (de 100 à 299 uTN); SS et DCO (de 500 à 1 499 mg/L); NT et PT (10 to 44 mg/L)

Bleu pâle : faibles valeurs de turbidité (de 0 à 99 uTN); SS et DCO (de 0 à 499 mg/L); NT et PT (de 0 à 9 mg/L)

Blanc : aucune détection

Tableau 1 : Variabilité des caractéristiques de l'eau de lavage

TENDANCES CONCERNANT LES TRAITEMENTS

Les essais de faisabilité ont montré que le traitement par tamisage n'était efficace qu'avec de l'eau de lavage qui contenait beaucoup de sable, de pelures ou d'autres matières organiques volumineuses; ce traitement était inefficace pour les eaux de lavage contenant de l'argile et des matières dissoutes (comme dans le cas des légumes-feuilles et des pommes). En examinant davantage les essais de faisabilité de traitement, les chercheurs ont constaté que la simple sédimentation permet de réduire jusqu'à 80 % les concentrations de solides en suspension. Les pommes de terre constituent l'exception, avec un taux d'enlèvement inférieur à 50 %. Le type de sol joue également un rôle important : par exemple, les loams prennent plus de temps à se déposer étant donné la fine nature et la faible densité des particules du sol, comparativement au sable qui se dépose rapidement. Pour améliorer l'efficacité de la sédimentation, le recours à des aides chimiques (coagulation et floculation – C & F) peut augmenter de beaucoup l'efficacité de retrait des solides pour tous les types d'eau de lavage. Les coagulants permettent aux petites particules de gonfler en taille, ce qui facilite la séparation des solides. Le défi réside dans le choix du coagulant adéquat pour les divers types de légumes et de sols.

Les systèmes avec hydrocyclone et centrifugeuse sont considérés comme étant de nature mécanique. L'hydrocyclone donne de bons résultats avec les sols sablonneux, mais ne fonctionne pas bien pour les autres types de solides. La centrifugeuse a été très efficace pour retirer les solides de l'eau, au-delà de 95 %, sans besoin d'ajouter de coagulants; cependant l'efficacité n'était pas au rendez-vous pour ce qui est des solides dissous.

La flottation à l'air dissous (FAD) est un processus physicochimique qui fonctionne bien pour l'eau de lavage contenant des matières flottantes, comme des matières organiques chargées. Le processus est rehaussé par l'ajout de faibles concentrations d'agents de coagulation. L'électrocoagulation ne requiert aucun ajout d'agent de coagulation et permet la précipitation des matières organiques grâce à la production d'une combinaison d'oxygène et d'oxydes d'aluminium par la réaction d'électrolyse. Le processus fonctionne bien avec l'eau de lavage des légumes-feuilles, mais l'eau provenant du traitement des pommes de terre a donné lieu à un encrassement excessif de la surface des électrodes. Le tableau 2 présente la matrice décisionnelle pour l'élimination des solides qui a été conçue pour aider au choix des technologies appropriées.

PRODUIT	SÉDIMENTATION	C & F	FAD	CENTRIFUGEUSE	HYDRO-CYCLONE	TAMISAGE	ÉLECTRO-COAGULATION
POMME DE TERRE	FAIBLE	BON	BON	BON	FAIBLE	FAIBLE	MOYEN
PATATE DOUCE	MOYEN	BON	BON	BON	FAIBLE	FAIBLE	BON
GINSENG	MOYEN	BON	BON	BON	FAIBLE	MOYEN	BON
CAROTTE	MOYEN	BON	BON	MOYEN	FAIBLE	MOYEN	BON
LÉGUMES VARIÉS	MOYEN	BON	BON	BON	MOYEN	MOYEN	BON
LÉGUMES-FEUILLES	MOYEN	BON	MOYEN	BON	FAIBLE	MOYEN	BON
POMME	MOYEN	BON	MOYEN	MOYEN	FAIBLE	FAIBLE	BON

Faible : réduction < 50 %; Moyen : réduction de 50 – 80 %; Bon : réduction > 80 %

Tableau 2 : Matrice décisionnelle pour l'élimination des solides (sans épluchage)

Les paramètres les plus difficiles à éliminer étaient la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biologique en oxygène (DBO), à cause de la nature soluble des éléments qui y contribuent. Certains des éléments qui causent la demande en oxygène ont été éliminés par flottation à l'air dissous, électrocoagulation et coagulation, bien qu'il était clair qu'un traitement biologique serait plus approprié (Tableau 3). Les producteurs participants à l'étude avaient déjà en place certains systèmes de traitement qui éliminent la DCO, comme les réacteurs biologiques séquentiels utilisés par les producteurs de pommes de terre. Ces systèmes ont été en mesure de traiter adéquatement les eaux de lavage ayant des DCO élevées.

PRODUIT	SÉDIMENTATION	C & F	FAD	CENTRIFUGEUSE	HYDRO-CYCLONE	TAMISAGE	ÉLECTRO-COAGULATION
POMME DE TERRE	N.D.	BON	BON	MOYEN	N.D.	N.D.	MOYEN
PATATE DOUCE	N.D.	BON	BON	BON	N.D.	N.D.	BON
GINSENG	N.D.	BON	BON	BON	N.D.	N.D.	BON
CAROTTE	N.D.	BON	BON	MOYEN	N.D.	N.D.	MOYEN
LÉGUMES VARIÉS	N.D.	BON	BON	MOYEN	N.D.	N.D.	MOYEN
LÉGUMES-FEUILLES	N.D.	FAIBLE	FAIBLE	FAIBLE	N.D.	N.D.	FAIBLE
POMME	N.D.	FAIBLE	FAIBLE	FAIBLE	N.D.	N.D.	MOYEN

Faible : réduction < 50 %; Moyen : réduction de 50 – 80 %; Bon : réduction > 80 %

Tableau 3 : Matrice décisionnelle pour la réduction de la DCO (sans épluchage)

Le tableau 4 montre la variation de l'élimination des nutriments (azote total et phosphore total) obtenue par les diverses méthodes de traitement à l'essai. La sédimentation n'a pas été testée puisqu'elle n'a qu'un effet minime sur l'azote et le phosphore dissous. Pour les autres traitements, l'élimination de l'azote et du phosphore varie en fonction des produits agricoles. Le recours à la matrice décisionnelle aidera les producteurs à évaluer le traitement qui fonctionne le mieux.

PRODUIT	SÉDIMENTATION	C & F		FAD		CENTRIFUGEUSE		ÉLECTRO-COAGULATION	
	NT & FT	NT	FT	NT	FT	NT	FT	NT	FT
POMME DE TERRE	N.D.	F	B	M	B	F	M	M	B
PATATE DOUCE	N.D.	B	B	M	M	B	M	B	B
GINSENG	N.D.	B	B	B	B	M	B	B	B
CAROTTE	N.D.	M	B	M	M	M	F	M	N.D.
LÉGUMES VARIÉS	N.D.	M	B	F	B	F	M	F	B
LÉGUMES-FEUILLES	N.D.	F	M	M	M	F	F	N.D.	M
POMME	N.D.	F	B	F	B	F	F	M	M

Faible (F) : réduction < 50 %; Moyen (M) : réduction de 50 – 80 %; Bon (B) : réduction > 80 %

Tableau 4 : Matrice décisionnelle pour l'élimination de l'azote (N) et du phosphore (P)



Dans la partie de l'étude portant sur la désinfection, les chercheurs ont constaté que l'eau de lavage de la plupart des produits agricoles contenait la bactérie E. coli, en concentrations variant de non détectables à 6,56 log cfu/100 mL. La variabilité des données étant trop grande, ils n'ont pu cerner de tendances. D'après ces observations, il faudra procéder à la désinfection de l'eau de lavage si l'on souhaite la réutiliser. On a par exemple optimisé un système de désinfection efficace pour créer un système de recyclage continu de l'eau de lavage générée lors de la transformation des légumes-feuilles. Le système optimisé comprenait une étape initiale de coagulation, suivie d'une filtration, d'un passage par une colonne d'échange d'ions, et d'un traitement avec des lampes UV. Ce système a permis d'éliminer plus de 90 % des solides et de réduire le dénombrement de bactéries de 2 log CFU (cellule souche unipotente). Ce traitement efficace a permis de réutiliser l'eau dans le système de lavage en continu.

QUELLES SONT LES INCIDENCES POUR LES DÉCIDEURS?

La réalisation de cette étude a mené au développement de trois matrices décisionnelles visant à aider les utilisateurs finaux et les partenaires à mieux comprendre les technologies de traitement qui donnent les meilleurs résultats pour différentes eaux de lavage. Les utilisateurs peuvent également intégrer les diverses technologies pour construire le système de traitement de l'eau de lavage qui convient le mieux à leurs opérations. Avec ces simples outils, il sera plus facile pour les producteurs de choisir l'équipement de traitement approprié, d'investir dans le bon équipement, de demeurer concurrentiels et de protéger l'environnement.

**POUR JOINDRE LA CHERCHEUSE, VEUILLEZ LE FAIRE PAR COURRIEL À RESEARCHSPOTLIGHT@CWN-RCE.CA.
CONSULTEZ NOTRE RÉPERTOIRE DE PROJETS À WWW.CWN-RCE.CA**

RAPPORT RÉDIGÉ PAR RICHARD G. ZYTNER, KEITH WARRINER ET GURVINDER S. MUNDI

ÉQUIPE DE RECHERCHE

RICHARD G. ZYTNER, Université de Guelph

KEITH WARRINER, Université de Guelph

BRAJESH DUBEY, Université de Guelph

GURVINDER S. MUNDI, Université de Guelph

PARTENAIRES

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'ALIMENTATION
ET DES AFFAIRES RURALES DE L'ONTARIO

ASSOCIATION DES FRUITICULTEURS ET DES
MARAÎCHERS DE L'ONTARIO

POMICULTEURS DE L'ONTARIO

APPLE MARKETER'S ASSOCIATION OF ONTARIO

HOLLAND MARSH GROWERS ASSOCIATION

ONTARIO POTATO BOARD

AMEC CONSULTING

RÉFÉRENCES CITÉES

CHOPRA, A.K. ET SHARMA, A.K. (2012), « Efficiency of turbidity and BOD removal from secondarily treated sewage by electrochemical treatment », *Journal of Applied and Natural Science*, vol. 4, no 2, p. 304-309.

CONESTOGA ROVERS AND ASSOCIATES (2005), *Agricultural Washwater Literature Review*, Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario, Guelph (Ontario).

GIL, M.I., M.V. SELMA, L. LÓPEZ-GÁLVEZ ET A. ALLENDE (2009), « Fresh-cut product sanitation and wash-water disinfection: Problems and solutions », *Int. J. Food Micro.*, vol. 134, p. 37-45.

LUO, Y. (2007), « Fresh-cut produce wash-water reuse affects water quality and packaged product quality and microbial growth in romaine lettuce », *HortScience*, vol. 42, p. 1413-1419.

¹ DORIS, P., A. JAMIESON ET M. PAYNE (2010), *Quand faut-il une SGEN, un PGEN, ou un plan MSNA*, Commande no 10-036 du MAAAR, Agdex 720/538.

OLLER, I., S. MALATO ET J.A. SÁNCHEZ-PÉREZ (2011), « Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination—A review », *Science of the Total Environment*, vol. 409, p. 4141-4166

STENZEL, T. (2013), *A Fruit and Vegetable View of US Food System*, IOM/NRC Workshop, Washington (DC), 16-17 septembre 2013.