



PCAA

Programme canadien d'adaptation agricole

Rapport final

Caractérisation des sites de production et des pratiques d'irrigation et de fertilisation en horticulture maraîchère

Projet # 6694

Conseil québécois de l'horticulture

3 août 2012 au 31 janvier 2014

Rédigé par

Jacob Hamel-Jolette, CQH

Mylène Généreux, IRDA

Caroline Côté, IRDA

31 janvier 2014

Équipe de réalisation

Répondant	Sébastien Brossard , agro-économiste, CQH
Responsable scientifique	Caroline Côté , agr., Ph.D., IRDA
Chargés de projet	Mylène Généreux , M.Sc., IRDA Jacob Hamel-Jolette , agr., CQH
Collaborateurs	Jennifer Gagné , CQH Sara Boivin-Chabot , M.Sc., CQH Producteurs horticoles , APMQ, APFFQ, FPPTQ

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

Table des matières

Équipe de réalisation.....	2
1. OBJECTIFS	4
2. RÉSULTATS ET ANALYSE	5
2.1. Rencontre de démarrage.....	5
2.2. Revue de littérature	5
2.3. Enquête auprès des producteurs	6
2.3.1. Élaboration du questionnaire	6
2.3.2. Géoréférencement	6
2.3.3. Méthodologie de l'enquête.....	7
2.3.4. Résultats.....	8
2.4. Diffusion des résultats.....	13
3. CONCLUSIONS	15
4. SOMMAIRE DES ACCOMPLISSEMENTS DU PROJET	16
5. PLAN DE FINANCEMENT ET CONCILIATION DES DÉPENSES	17

Annexes

1. Revue de littérature sur les risques potentiels reliés à l'utilisation de fumiers et de matières fertilisantes à proximité des sites de production horticole.
2. Fiche synthèse sur les facteurs de risques.
3. Questionnaire sur la caractérisation de l'eau d'irrigation d'entreprises en production horticole à proximité d'entreprises d'élevages animaux.
4. Correspondance avec le MAPAQ datée du 6 juin 2012. « Demande d'accès aux renseignements concernant l'identification des zones présentant les plus fortes densités de productions animales et horticoles pour les principales régions productrices de fruits et légumes ».
5. Correspondance avec le MAPAQ datée du 16 octobre 2013. « Demande d'accès aux renseignements concernant l'identification des zones présentant les plus fortes densités de productions animales et horticoles pour les principales régions productrices de fruits et légumes ».
6. Correspondance avec le MAPAQ datée du 1er novembre 2013 « Demande d'accès aux renseignements concernant l'identification des zones présentant les plus fortes densités de productions animales et horticoles pour les principales régions productrices de fruits et légumes », refusée.

1. OBJECTIFS

Les problèmes associés à la salubrité des fruits et légumes peuvent causer des pertes importantes pour les producteurs horticoles. Il y a quelques années, la présence d'*E. coli* dans les épinards provenant des États-Unis avait engendré des pertes importantes pour les producteurs québécois. Depuis, le secteur horticole canadien a investi énormément de ressources dans l'élaboration de guides de salubrité à la ferme basés sur les principes HACCP pour les productions horticoles afin de répondre aux exigences du marché.

Au cours du processus de certification aux programmes de salubrité, plusieurs facteurs sont considérés dans l'étude des risques potentiels de contamination des cultures à la ferme, notamment l'eau d'irrigation, l'utilisation de fertilisants organiques, ainsi que la proximité de zones d'élevage intensif. Peu d'information est disponible quant au niveau de risque réel lié à ces activités au Québec.

Par ailleurs, plusieurs municipalités, encouragées par la réglementation, sont à l'heure des choix concernant la disposition des matières résiduelles : épandage sur des terres agricoles, compostage, production de biogaz ou autres technologies. Cependant, peu importe la technologie, il apparaît que les résidus seront, en totalité ou en partie, offerts au milieu agricole. L'épandage sur un pâturage ou un champ à proximité d'une production horticole pourrait poser problème.

L'objectif général du projet était de caractériser les sites de production et les pratiques d'irrigation et de fertilisation en horticulture. Les objectifs spécifiques étaient de :

1. Réaliser une revue de la littérature sur les risques potentiels reliés à l'utilisation de fumiers et de matières fertilisantes sur les sites de production de légumes et de petits fruits à proximité;
2. Identifier, grâce au géoréférencement, les zones présentant les plus fortes densités de productions animales et horticoles;
3. Caractériser l'utilisation des fertilisants organiques et de l'eau d'irrigation en production horticole au Québec par une enquête auprès de 100 producteurs (localisation, quantité, source, utilisation par production et autres paramètres).

2. RÉSULTATS ET ANALYSE

2.1. Rencontre de démarrage

La rencontre de démarrage du projet a eu lieu le 6 novembre 2012. Différents intervenants, impliqués directement ou non dans le projet, ont été invités à la maison de l'UPA, à Longueuil, afin d'établir les bases du projet pour la suite des activités. Les personnes présentes à cette rencontre étaient :

- Claude Laniel, secrétaire-coordonateur, CQH;
- Sébastien Brossard, agro-économiste, CQH;
- Caroline Côté, chercheure, IRDA;
- Mylène Généreux, professionnelle de recherche, IRDA;
- Marc Trudelle, conseiller en agroenvironnement, Fédération des producteurs de porcs du Québec;
- Nathalie Côté, agente à l'environnement et à l'assurance qualité, Fédération des producteurs de bovins du Québec;
- François Chrétien, spécialiste en gestion de l'eau et santé environnementale, Agriculture et agroalimentaire Canada (AAC);
- Daniel Bernier, agr., Direction recherche et politiques agricoles, UPA.
- Martine Labonté, directrice adjointe recherche économique, Fédération des producteurs de Lait.

Ceci a permis de présenter la justification, la description et la méthodologie du projet aux différentes organisations de producteurs impliquées et de présenter le calendrier des activités. De plus, nous avons pu recueillir les préoccupations des représentants de fédérations de productions animales en lien avec cet enjeu. Le calendrier initial devait se dérouler de novembre 2012 à mai 2013, mais dû à des contraintes, notamment au niveau de l'obtention des données pour le géoréférencement et l'enquête auprès des producteurs, le projet été complété en janvier 2014.

2.2. Revue de littérature

Une revue de littérature¹ a été effectuée sur les risques potentiels reliés à l'utilisation de fumiers et de matières fertilisantes à proximité des sites de production horticole.

Cette revue de 40 pages (incluant les annexes), présente la réglementation en vigueur concernant l'utilisation d'engrais de ferme en horticulture et l'utilisation de matières résiduelles fertilisantes en agriculture. De plus, les principaux programmes de salubrité à la ferme et leurs exigences quant à l'utilisation de l'eau d'irrigation et des matières fertilisantes y sont décrits. Ensuite, une revue de littérature basée sur l'analyse du risque relié aux dangers physiques, chimiques et biologiques a été effectuée. Les différents ouvrages publiés sur la survie, la dégradation et le transport des contaminants dans l'environnement et sur les cultures horticoles ont aussi été recensés afin de bien caractériser ces dangers. Les principaux facteurs de risque, rassemblés en quatre sujets, ont été identifiés, soit les amas

¹ IRDA. Revue de littérature sur les risques potentiels reliés à l'utilisation de fumiers et de matières fertilisantes à proximité des sites de production horticole. Document présenté en annexe.

au champ, la gestion de l'irrigation et de fertilisants organiques, la présence d'animaux sauvages dans les champs horticoles et les étangs d'irrigation, ainsi que la proximité d'élevages (bâtiments, épandages et pâturages). Enfin, deux études de cas ont aussi été présentées afin de faire la lumière sur des épisodes d'infections à *E. coli* O157 : H7 liés à la présence d'animaux domestiques ou fauniques à proximité de champs horticoles et qui ont causé la maladie chez l'homme suite à la consommation de fruits ou de légumes. Ce document est présenté en annexe.

2.3. Enquête auprès des producteurs

2.3.1. Élaboration du questionnaire

Suite à la rédaction de la revue de littérature, une fiche sur les facteurs de risque² a été réalisée par l'équipe de l'IRDA afin de regrouper dans un même document les risques potentiels reliés à l'utilisation de fumiers et de matières fertilisantes à proximité des sites de production horticoles. Cette fiche synthèse a ensuite été utilisée comme document de référence pour l'élaboration du questionnaire d'enquête. Le questionnaire³ de 6 pages, qui a été rempli par plus de 100 producteurs entre septembre et décembre 2013, contenait de l'information sur :

- la localisation de l'entreprise;
- les cultures horticoles produites;
- les pratiques d'irrigation reliées à production;
- les caractéristiques de sol et l'aménagement de l'entreprise;
- les productions à proximité;
- la présence d'une zone industrielle à proximité;
- l'utilisation de matières fertilisantes à la ferme;
- la situation de l'entreprise par rapport à la faune.

Le questionnaire élaboré par le CQH et validé par l'IRDA, fût ensuite éprouvé auprès de producteurs, soit au téléphone ou en les rencontrant en personne sur leur entreprise, afin de s'assurer que toute l'information s'y trouvant était pertinente et que le questionnaire couvrait bien l'ensemble des productions horticoles visées.

2.3.2. Géoréférencement

Avant d'effectuer l'enquête, des démarches ont été effectuées dans le but d'obtenir des renseignements auprès du Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) concernant l'identification des zones présentant les plus fortes densités de productions animales et horticoles pour les principales régions productrices de fruits et légumes. La demande initiale⁴ d'accès aux renseignements envoyée le 6 juin 2012 au bureau du sous-ministre nous laissait croire que nous pourrions obtenir cette information sans problème. Par contre, lorsque nous avons

² IRDA. Fiche synthèse sur les facteurs de risque.

³ CQH. « Questionnaire sur la caractérisation de l'eau d'irrigation d'entreprises en production horticole à proximité d'entreprises d'élevages animaux ». 2013. 6 pages. Document présenté en annexe.

⁴ CQH. Correspondance avec le MAPAQ datée du 6 juin 2012 : « Demande d'accès aux renseignements concernant l'identification des zones présentant les plus fortes densités de productions animales et horticoles pour les principales régions productrices de fruits et légumes ». Document présenté en annexe.

réitéré notre demande en 2013⁵, nous avons été informés⁶ que, selon l'article 23 de la Loi sur l'accès aux documents des organismes publics et sur la protection et des renseignements personnels,

« Un organisme public ne peut communiquer le secret industriel d'un tiers ou un renseignement industriel, financier, commercial, scientifique, technique ou syndical de nature confidentielle fourni par un tiers et habituellement traité par un tiers de façon confidentielle, sans son consentement. »

En l'absence de cette information critique, il était difficile d'atteindre parfaitement et avec certitude l'objectif spécifique visant à identifier, grâce au géoréférencement, les zones présentant les plus fortes densités de productions animales et horticoles.

Par conséquent, nous avons dû modifier notre stratégie d'enquête visant à contacter en premier lieu les producteurs situés dans les régions qui auraient été identifiées par géoréférencement avec une plus forte densité de cohabitation d'entreprises horticoles et d'élevage d'animaux. Dès lors, pour effectuer notre enquête, nous avons dû cibler, en considérant le nombre d'entreprises horticoles et d'élevage de la province, les principales régions où le potentiel de cohabitation était plus élevé. Ainsi, les résultats de l'enquête nous ont permis de déterminer quelles sont les régions avec le plus d'entreprises répondant aux critères nécessaires à l'enquête, donc avec les plus fortes densités de production animales et horticoles.

2.3.3. Méthodologie de l'enquête

Il est nécessaire de préciser que l'enquête a été effectuée auprès de producteurs qui désiraient collaborer. L'échantillonnage n'était donc pas aléatoire en raison du fait que nous devions utiliser les listes de producteurs fournies par les associations de producteurs. Les producteurs rejoints devaient également répondre à certains critères afin d'être éligibles à remplir le questionnaire. Pour ce faire, nous avons dû rejoindre un nombre imposant de producteurs afin d'obtenir au final les 100 producteurs respectant les critères de sélection.

De plus, il est arrivé que certains producteurs, bien qu'ils respectaient les critères, ne désiraient pas répondre au questionnaire, soit par manque de temps, d'intérêt ou par méfiance. Ceci a allongé la récolte des 100 sondages, car nous avons dû rejoindre plus de 400 producteurs.

Les critères d'éligibilité

Les critères nécessaires à l'enquête que devaient avoir les entreprises étaient multiples. Premièrement, l'entreprise horticole devait effectuer l'irrigation de ses cultures au cours de l'année. Deuxièmement, il devait y avoir une source potentielle de contamination à proximité. Cette source pouvait être diversifiée, notamment un élevage d'animaux à la ferme ou chez un voisin, l'utilisation de fertilisants

⁵ CQH. Correspondance avec le MAPAQ datée du 16 octobre 2013 : « Demande d'accès aux renseignements concernant l'identification des zones présentant les plus fortes densités de productions animales et horticoles pour les principales régions productrices de fruits et légumes ». Document présenté en annexe.

⁶ CQH. Correspondance avec le MAPAQ datée du 1^{er} novembre 2013 : « Demande d'accès aux renseignements concernant l'identification des zones présentant les plus fortes densités de productions animales et horticoles pour les principales régions productrices de fruits et légumes ». Document présenté en annexe.

organiques tels que des fumiers ou des amas au champ (sur ou adjacent à la culture horticole) ou encore la présence d'industries à proximité.

Les listes de producteurs

De plus, pour obtenir la collaboration des différentes associations de producteurs horticoles impliquées, nous avons dû bien expliquer les objectifs du projet et les retombées de l'enquête. Au final, différentes méthodes ont été utilisées pour rejoindre les producteurs. Un courriel initial expliquant le projet et les critères a été envoyé aux producteurs horticoles avec un lien vers un sondage en ligne. Certains producteurs ont ainsi pu remplir le questionnaire directement sur internet. Ceux qui ne remplissaient pas les critères ou qui avaient mal rempli le questionnaire étaient éliminés. Ensuite, la majeure partie des producteurs ayant participé à l'enquête ont répondu via une entrevue téléphonique. En premier lieu, nous devions leur faire un bref résumé des visées du projet, par la suite nous nous assurons qu'ils remplissaient les critères et finalement, nous leur demandions s'ils désiraient répondre au questionnaire.

Nous avons dû rejoindre les producteurs principalement durant les mois de novembre et de décembre, car plus tôt dans la saison, les producteurs étaient toujours occupés à travailler dans les champs et peu enclins à réserver du temps pour ce type d'enquête.

2.3.4. Résultats

Mise en contexte

Bien que plusieurs régions administratives aient été couvertes par le sondage, la majorité des répondants provenait de la Montérégie (30 %), de la Capitale-Nationale (21 %) et de Lanaudière (20 %). La distribution des répondants selon la région est présentée à la figure 1.

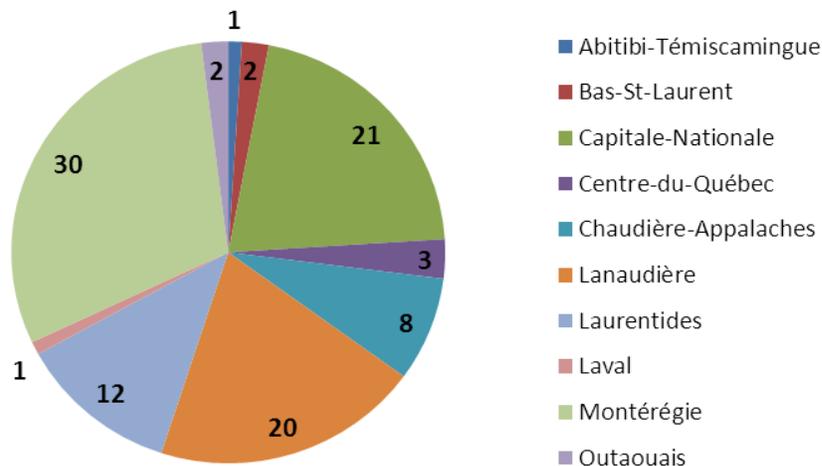


Figure 1. Répartition (%) des 100 répondants selon leur région de production.

Les productions horticoles cultivées chez les répondants étaient très diversifiées.

Sur 100 répondants :

- 19 cultivent exclusivement la pomme et/ou des petits fruits (fraise, framboise, cerise de terre, canneberge, camerise)
- 21 cultivent à la fois des fruits et des légumes.
- 21 cultivent exclusivement la pomme de terre.
- 39 produisent des légumes dont les productions englobaient :
 - des crucifères (brocoli, chou-fleur, chou Nappa, chou de Bruxelles, choux vert, rouge et de Savoie, radis, rutabaga, rabiole)
 - des composées (laitue)
 - des liliacées (oignon, échalote, poireau, asperge, ail)
 - des ombellifères (carotte, céleri, panais, persil, coriandre)
 - des solanacées (tomate, poivron, aubergine, tabac)
 - des cucurbitacées (concombre, courges, citrouille)
 - des chénopodiacées (betterave)
 - des poacées (maïs sucré)
 - des légumineuses (haricot)

Un peu moins de la moitié des répondants détenait une certification (ou sont en cours d'autorisation) à un programme de salubrité à la ferme reconnu, dont 39 à CanadaGAP, deux à GFSI et quatre à d'autres programmes. Quarante-sept répondants n'ont aucune certification et neuf sont certifiés conformes aux normes de l'agriculture biologique. Un même répondant pouvait être certifié à un programme de salubrité et conforme aux normes de l'agriculture biologique. Les producteurs ayant une certification sont en général plus au fait des mesures de gestion du risque à prendre à l'échelle de la ferme. Le sondage a d'ailleurs révélé que la majorité des producteurs restreignant l'accès de la faune aux étangs d'irrigation avaient adhéré à un programme de salubrité. Cette pratique au niveau des étangs demeure toutefois très peu répandue.

Eau d'irrigation

Suite à la revue de littérature, trois principaux facteurs de risque liés à l'eau d'irrigation utilisée sur la ferme ont été relevés, soit la source d'eau, le mode d'irrigation et le traitement de l'eau. D'abord, l'eau de surface est reconnue comme étant plus susceptible à la contamination que l'eau souterraine. Les résultats de l'enquête ont démontré que 39 répondants puisent leur eau d'irrigation (en partie ou en totalité) dans un cours d'eau. De l'eau souterraine et de l'eau potable municipale est utilisée dans 10 et un cas, respectivement. Des étangs d'irrigation sont utilisés dans 72 des entreprises sondées, mais la source de l'eau dans ces étangs était très variable, puisque de l'eau souterraine et/ou de surface était parfois acheminée vers ces étangs. Des sources d'eau différentes peuvent être utilisées dans une même entreprise, selon les cultures et l'emplacement des champs.

Le risque de contamination des cultures suite à l'irrigation par aspersion est également plus élevé que dans les cas où un système par goutte-à-goutte est utilisé. L'enquête a démontré que 62 répondants utilisaient l'aspersion comme unique mode d'irrigation, dont trois au démarrage des cultures et en cas de gel seulement (principalement dans les petits fruits). Par contre, le degré de risque n'est pas le même d'une culture à l'autre. Par exemple, la culture de la pomme de terre qui utilise l'aspersion comme type d'irrigation, ne comportera pas le même risque qu'une culture de laitue. D'ailleurs, nous avons remarqué que les producteurs de légumes feuilles étaient particulièrement consciencieux par rapport à

la gestion de leur eau d'irrigation. La répartition des 100 répondants selon le mode d'irrigation utilisé au sein de l'entreprise est illustrée à la figure 2.

Finalement, les risques sont également moins élevés si l'eau est traitée par un procédé reconnu. La majorité des répondants, soit 85 personnes, ne traite pas leur eau d'irrigation. Parmi les moyens retenus chez les répondants traitant leur eau, notons la chloration (6 cas), le sulfate de cuivre (5 cas), l'aération (3 cas) et la filtration (2 cas). Plus d'un type de traitement peut être utilisé dans une même entreprise et certains traitements visent plutôt le contrôle des algues ou de matières en suspension plutôt que la désinfection de l'eau.

En résumé, les résultats révèlent que les cultures horticoles de la majorité des entreprises sont irriguées par aspersion avec de l'eau de surface non traitée, représentant la situation la plus à risque.

L'enquête a également révélé que les champs étaient drainés chez 96 % des répondants et que parmi ceux-ci, l'eau de drainage était acheminée vers les étangs d'irrigation dans 21 cas. Dans l'éventualité où des produits phytosanitaires et/ou des fertilisants organiques seraient appliqués dans ces champs, les risques de contamination des cultures liés à l'utilisation de l'eau pour l'irrigation sont potentiels, particulièrement si les sols sont sujets au lessivage. Les données scientifiques sur le transport des contaminants dans les eaux de drainage sont toutefois rares.

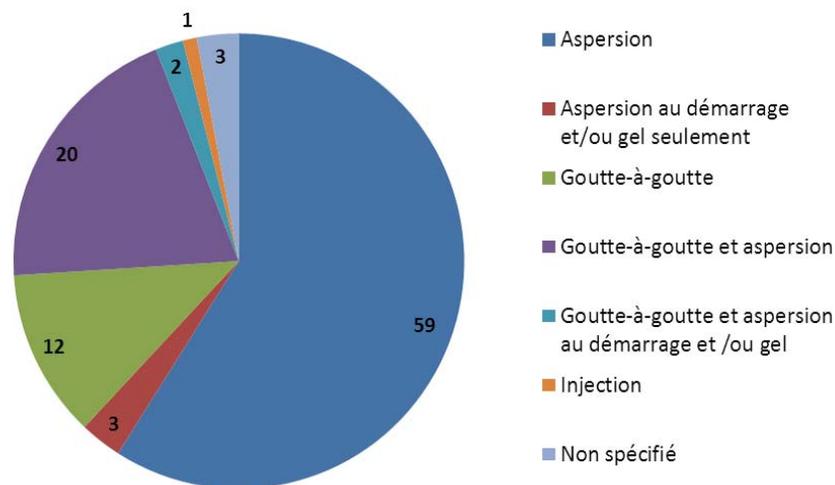


Figure 2. Répartition (%) des modes d'irrigation utilisés chez les répondants.

Fertilisants organiques utilisés sur la ferme

La majorité des producteurs agricoles sondés, soit 81, utilisent des engrais minéraux sur leur entreprise, toutes cultures confondues. De ceux-ci, 58 utilisent uniquement ce mode de fertilisation. Les autres ont

recours à plusieurs types de fertilisants, dont des fumiers et lisiers (29 cas), des composts (15 cas), du bois raméal fragmenté (4 cas) et des matières résiduelles fertilisantes (1 cas). Une même entreprise peut utiliser plus d'un type de fertilisant.

Peu de répondants ont dit utiliser des engrais organiques sur leurs cultures horticoles. En effet, seuls 16 épandent des fumiers au printemps ou suite aux récoltes à l'automne. Parmi ceux qui épandent des engrais de ferme, le fumier de volaille est celui dont l'utilisation est la plus répandue. Trois producteurs de fraises utilisent des fumiers de bovin ou de volaille lors de l'implantation des fraisiers. Il n'y a cependant pas de récolte la même année. La majorité épandent des fumiers dans les années de rotation (en céréales) ou n'en mettent pas du tout.

La gestion des fertilisants organiques sur la ferme peut avoir un impact important sur les risques de contamination des cultures horticoles et ce, même s'ils ne sont pas utilisés pour fertiliser celles-ci. Par exemple, la topographie (pentes de plus de 6 %), ainsi que les sols sableux sont reconnus comme présentant un risque accru de contamination de l'eau de surface et souterraine, respectivement. Selon les résultats de l'enquête, la topographie retrouvée dans la majorité des cas ne poserait pas problème, puisque les pentes sont légères (entre 1 et 6 %). Des pentes supérieures à 6 % ont été déclarées chez 12 répondants et ne représentaient pas une grande superficie.

Les types de sol retrouvés au sein des entreprises sondées sont très variés. En résumé, le loam sableux est la texture la plus souvent rapportée dans les champs des producteurs (50 cas), suivi du sable (27 cas), du loam argileux (18 cas), du loam (17 cas), des terres noires (14 cas), de l'argile (11 cas) et des sols plutôt graveleux (2 cas).

Ainsi, les risques augmentent si des fumiers sont épandus dans un champ dont les pentes vers un cours d'eau sont fortes et que ce champ est situé en amont d'un point de pompage d'eau d'irrigation. Ce risque est cependant amoindri si les bandes riveraines sont d'une largeur et d'une densité adéquates. L'enquête a d'ailleurs révélé que des bandes riveraines étaient présentes chez 92 % des répondants. Dans le même ordre d'idée, quelques publications ont porté sur les risques de lessivage liés à des fumiers épandus dans un champ dont le sol est plutôt sableux et sur les amas de fumier entreposés sur ce type de sol. La contamination de l'eau souterraine serait possible et l'utilisation de cette eau pour irriguer un champ horticole pourrait représenter un risque, particulièrement si les récoltes se font peu de temps après. Des amas au champ contenant des fumiers sont faits au moins une fois par an chez 16 % des répondants.

L'inondation des terres agricoles avait également été relevée comme étant un facteur de risque de contamination des cultures, puisque lors d'un tel événement, l'apport et le transport de contaminants dans les champs est accru. L'enquête a révélé que certains champs horticoles étaient inondés de façon intermittente chez 14 répondants. Les détails de ces informations sont présentés à la figure 3. Certains répondants ont déclaré produire des cultures tardives sur les parcelles inondées.

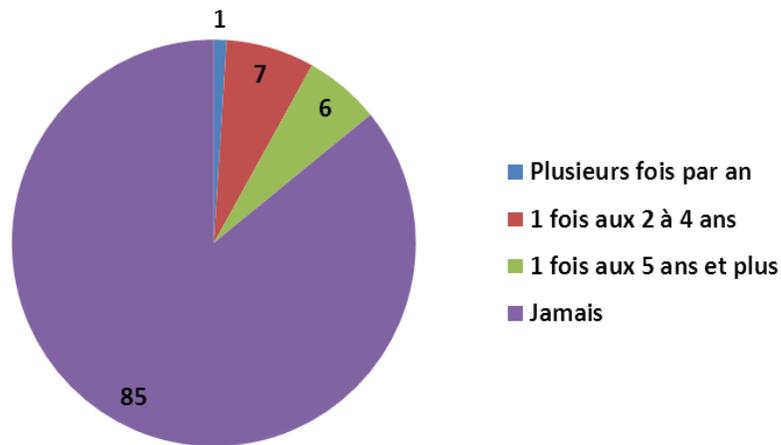


Figure 9. Nombre de répondants ayant déclaré des risques d'inondation de certains champs horticoles.

Covoisinage

Suite à la revue de littérature, plusieurs facteurs liés à l'environnement immédiat des champs horticoles ont été ciblés comme présentant un risque potentiel pour les récoltes, soit :

- zone industrielle
- bâtiments avicoles
- épandage de lisier de porc à moins de 250 m
- pâturages adjacents

Douze répondants ont déclaré se trouver à proximité d'une zone industrielle, dont cinq dans un rayon inférieur à 1,5 km, rayon auquel un risque chimique (arsenic et chrome) réel avait été défini dans la littérature pour une usine traitant du bois. Par contre, peu de données sont disponibles quant aux types d'industries retrouvées dans le voisinage des fermes participantes à l'enquête.

Des zones où se fait l'élevage d'animaux ont été répertoriées dans le voisinage de 60 entreprises sondées. Trois combinent l'élevage et l'horticulture au sein même de l'entreprise, dont deux en production bovine et une en production avicole. La littérature rapporte un risque plus élevé de contamination biologique par les aérosols lorsque des bâtiments avicoles sont à proximité, ce qui est le cas chez cinq répondants où les bâtiments se trouvent à moins de 60 m des champs horticoles. Trois de ces producteurs cultivent uniquement la pomme de terre, un produit des pommes et l'autre des pommes de terre et des fraises. Bien que la contamination des pommes de terre par des bioaérosols issus des bâtiments soit moins probable, les risques augmentent dans le cas des pommes et des fraises, particulièrement parce que ce sont des produits souvent consommés crus.

Toutes productions confondues, des bâtiments d'élevage se trouvant à 100 m et moins des zones horticoles ont été signalés dans 18 cas, dont des productions bovines (10 cas), avicoles (5 cas) et porcines (4 cas). Peu d'information est toutefois disponible sur l'intensivité de ces zones d'élevage, un

critère considéré dans le « California leafy green products handler marketing agreement », un programme de salubrité créé en 2007 par l'industrie californienne en collaboration avec des experts scientifiques en salubrité (se référer à la revue de littérature).

Chez 33 entreprises, des épandages de fumiers ont lieu dans des champs adjacents aux cultures horticoles. Les types de fumiers épandus incluent le bovin (22 cas), la volaille (5 cas), le porc (8 cas) et la chèvre (1 cas), ainsi que 3 cas non spécifiés. Dans huit cas, du lisier de porc est épandu à moins de 250 m d'un champ horticole, rayon pour lequel un risque biologique (aérosols) avait été relevé dans la revue de littérature. Par contre, l'épandage a lieu exclusivement à l'automne dans deux des huit cas, réduisant considérablement les risques pour ceux-ci. Pour les 6 cas où l'épandage peut se faire durant la saison, seuls 2 présentent des lisiers qui ne sont pas incorporés suite à l'application, réduisant par le fait même les risques de ruissellement vers les cultures horticoles.

Les champs horticoles adjacents à des pâturages sont également plus à risque de contamination via le ruissellement de surface suite à des pluies. Cette situation a été relevée chez 12 des 100 entreprises sondées.

Animaux sauvages

À l'instar des animaux d'élevage, les animaux de la faune peuvent être porteurs de microorganismes potentiellement pathogènes pour l'humain. La présence de ces animaux dans les champs horticoles peut donc représenter un risque sanitaire pour les récoltes. Quarante-quatre répondants ont déclaré avoir déjà eu des dommages aux cultures liés à la présence d'animaux de la faune. Les espèces animales en cause sont nombreuses et comptent surtout le chevreuil, les petits rongeurs, la marmotte, les oies blanches et d'autres oiseaux. Tel que rapporté dans la littérature, l'accès de la faune aux étangs servant à l'irrigation représente également un risque de contamination des cultures. Lors du sondage, seulement quatre répondants ont spécifié que l'accès aux étangs d'irrigation était restreint par des clôtures, dont trois ont une certification au programme de salubrité CanadaGAP.

2.4. Diffusion des résultats

Une brève présentation du projet sera effectuée lors de la semaine horticole 2014 qui aura lieu les 11,12 et 13 février 2014. Une fiche synthèse résultante de l'enquête et du recensement des écrits sera également distribuée lors de l'événement. De plus, le rapport final, la revue de littérature ainsi que la fiche synthèse seront disponibles sur le site internet du CQH.

Tel que mentionné dans la description des activités réalisées, l'échéancier du projet a dû être réajusté en l'attente des données de géoréférencement et afin de s'assurer d'obtenir la participation des producteurs à l'enquête. De plus, comme le MAPAQ n'a pu nous fournir les données de géoréférencement, nous ne pouvions identifier avec certitude les régions aux fortes densités de productions horticoles et animales. Par contre, nous étions en mesure d'observer, selon la localisation des entreprises ayant répondu au sondage, quelles étaient les régions ayant une forte densité au niveau de ces deux types de production.

DIFFUSION DES RÉSULTATS

<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>
Ajout : Fiche synthèse du projet	Élaboration d'une fiche synthèse	La fiche technique est un résumé de 2 pages qui fait une synthèse du projet. Cette fiche sera mise en ligne sur le site internet du CQH (cqh.ca) et disponible lors de la Semaine horticole 2014	31 janvier 2014	1000 personnes/mois	Mention
Semaine horticole 2014	Présentation du projet lors de la semaine horticole 2014	La semaine horticole dure 3 jours et rassemble des producteurs et intervenants du secteur. Les thèmes des différentes journées sont la recherche, la salubrité/traçabilité et une journée thématique sur les perspectives de l'horticulture.	11 au 13 février 2014	Environ 200	Mention et logo

3. CONCLUSIONS

La revue de littérature et l'enquête réalisées dans le cadre de ce projet colligent une importante série de données pertinentes sur les pratiques d'irrigation et de fertilisation dans les entreprises agricoles québécoises. Elle permet notamment de connaître le contexte actuel québécois quant à la présence d'élevages et à l'utilisation de fertilisants organiques dans l'environnement immédiat des sites de production horticole.

L'enquête auprès de 100 producteurs horticoles a permis d'établir que :

- 59 irriguent par aspersion seulement;
- 39 puisent une partie ou la totalité de leur eau d'irrigation dans un cours d'eau;
- 85 ne traitent pas l'eau d'irrigation;
- 21 acheminent leurs eaux de drainage dans les étangs servant à l'irrigation;
- 18 sont à 100 m et moins d'un bâtiment d'élevage;
- 33 ont des champs horticoles adjacents à des zones d'épandage de fumiers;
- 12 ont des champs horticoles adjacents à des pâturages;
- 16 font des amas au champ contenant des fumiers;
- 44 ont des dommages aux cultures causés par la faune;
- 96 ne restreignent pas l'accès de la faune à leurs étangs d'irrigation.

En ciblant des problématiques précises, les données amassées durant ce projet pourront servir de bases à la création de nouveaux projets de recherche. Par exemple, les risques chimiques liés à la présence d'industries à proximité des zones horticoles et les risques biologiques liés au transport des contaminants dans les eaux de drainage, issus d'un amas au champ ou d'un bâtiment d'élevage ont très peu été étudiés dans le contexte québécois.

4. SOMMAIRE DES ACCOMPLISSEMENTS DU PROJET

Les problèmes associés à la salubrité des fruits et légumes peuvent causer des pertes importantes pour les producteurs horticoles. Le secteur horticole canadien a investi énormément de ressources dans l'élaboration de guides de salubrité à la ferme pour les productions horticoles afin de répondre aux exigences du marché. Au cours du processus de certification, plusieurs facteurs sont considérés dans l'étude des risques potentiels de contamination des cultures à la ferme, notamment l'eau d'irrigation, l'utilisation de fertilisants organiques, ainsi que la proximité de zones d'élevage intensif.

L'objectif général du projet était de caractériser les sites de production et les pratiques d'irrigation et de fertilisation en horticulture. Les objectifs spécifiques étaient de 1) Réaliser une revue de la littérature sur les risques potentiels reliés à l'utilisation de fumiers et de matières fertilisantes à proximité des sites de production horticole; 2) Identifier, grâce au géoréférencement, les zones présentant les plus fortes densités de productions animales et horticoles; 3) Caractériser l'utilisation des fertilisants organiques et de l'eau d'irrigation en production horticole au Québec par une enquête auprès de 100 producteurs.

Suite à la revue de littérature, les principaux facteurs de risque, rassemblés en quatre sujets, ont été identifiés, soit les amas au champ, la gestion de l'irrigation et de fertilisants organiques, la présence d'animaux sauvages dans les champs horticoles et les étangs d'irrigation, ainsi que la proximité d'élevages (bâtiments, épandages et pâturages).

L'enquête a été réalisée auprès de 100 producteurs horticoles. Ceux-ci devaient 1) irriguer leurs cultures au cours de l'année; 2) avoir une source potentielle de contamination à proximité, notamment un élevage d'animaux ou une industrie; 3) utiliser des fertilisants organiques (sur ou adjacents à la culture horticole). Les répondants provenaient de différentes régions, dont la Montérégie (30 %), la Capitale-Nationale (21 %) et Lanaudière (20 %). Dix-neuf entreprises se spécialisaient dans la production de fruits, 21 produisaient des fruits et des légumes, 21 faisaient uniquement de la pomme de terre, et 39 entreprises cultivaient des légumes diversifiés.

En résumé et en fonction des facteurs de risque documentés, l'enquête auprès des 100 producteurs horticoles a permis d'établir que :

- 59 irriguent par aspersion seulement;
- 39 puisent une partie ou la totalité de leur eau d'irrigation dans un cours d'eau;
- 85 ne traitent pas l'eau d'irrigation;
- 21 acheminent leurs eaux de drainage dans les étangs servant à l'irrigation;
- 18 sont à 100 m et moins d'un bâtiment d'élevage;
- 33 ont des champs horticoles adjacents à des zones d'épandage de fumiers;
- 12 ont des champs horticoles adjacents à des pâturages;
- 16 font des amas au champ contenant des fumiers;
- 44 ont des dommages aux cultures causés par la faune;
- 96 ne restreignent pas l'accès de la faune à leurs étangs d'irrigation.

En ciblant des problématiques précises, les données amassées durant ce projet pourront servir de bases à la création de nouveaux projets de recherche. Par exemple, les risques chimiques liés à la présence d'industries à proximité des zones horticoles et les risques biologiques liés au transport des contaminants dans les eaux de drainage, issus d'un amas au champ ou d'un bâtiment d'élevage ont très peu été étudiés dans le contexte québécois.

5. PLAN DE FINANCEMENT ET CONCILIATION DES DÉPENSES

Les documents demandés seront envoyés suite à l'envoi de ce rapport.

Dernière mise à jour du formulaire par le CDAQ : 17 mars 2010

**Caractériser les sites de production et les pratiques
d'irrigation et de fertilisation en horticulture**

**Revue de littérature sur les risques potentiels reliés à l'utilisation
de fumiers et de matières fertilisantes à proximité des sites de
production horticole**

Revue présentée au

Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec
-Programme canadien d'adaptation agricole-

Projet PCAA # 6694
Projet IRDA # 901 047

Par

Mylène Généreux, M.Sc.
Caroline Côté, agr., Ph.D.

Janvier 2014

L'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) est une corporation de recherche à but non lucratif, constituée en mars 1998 par quatre membres fondateurs, soit le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), l'Union des producteurs agricoles (UPA), le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) et le ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (MDEIE).



Notre mission

L'IRDA a pour mission de réaliser des activités de recherche, de développement et de transfert en agroenvironnement visant à favoriser l'innovation en agriculture, dans une perspective de développement durable.

Pour en savoir plus

www.irda.qc.ca

Le document peut être cité comme suit :

Généreux M. et C. Côté. 2014. Revue de littérature sur les risques potentiels reliés à l'utilisation de fumiers et de matières fertilisantes à proximité des sites de production horticole. IRDA. 48 pages.

© Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

Équipe de réalisation

Responsable scientifique	Caroline Côté , agr., Ph.D., chercheure- hygiène du milieu agricole et salubrité des produits horticoles, IRDA
Responsable du projet	Sébastien Brossard , agr., agro-économiste, CQH
Chargée de projet	Mylène Généreux , M.Sc., professionnelle de recherche, IRDA
Collaboratrices	Marie Jo Breton , microbiologiste, IRDA Anne Tremblay-Gratton , biologiste, IRDA

Table des matières

Équipe de réalisation	3
Liste des tableaux.....	5
1. Introduction	6
1.1 Mise en contexte	6
1.2 Réglementation en vigueur	6
1.2.1 Utilisation d’engrais de ferme en horticulture.....	6
1.2.2 Utilisation de matières résiduelles fertilisantes en agriculture	7
1.2.3 Irrigation des cultures horticoles	9
1.3 Programmes de salubrité à la ferme	9
1.3.1 Initiative mondiale sur la salubrité alimentaire (IMSA)	9
1.3.2 « CanadaGAP »	10
1.3.3 « Leafy green marketing agreement »	11
2. Revue de littérature basée sur l’analyse du risque	12
2.1 Identification des dangers.....	12
2.1.1 Dangers physiques.....	12
2.1.2 Dangers chimiques	12
2.1.3 Dangers biologiques	15
2.2 Caractérisation des dangers	17
2.2.1 Survie et transport des contaminants biologiques dans l’environnement et sur les cultures horticoles.....	17
2.2.2 Transport et dégradation des contaminants chimiques dans l’environnement	21
2.2.2.1 Prélèvement des contaminants chimiques par les cultures horticoles	22
3. Facteurs de risque	22
3.1 Amas au champ	22
3.2 Gestion de l’irrigation et des fertilisants organiques	24
3.3 Animaux d’élevage et sauvages	26
3.3.1. Études de cas	27
4. Conclusions	27
5. Références	29
Annexes	39

Liste des tableaux

Tableau 1. Exigences du « Leafy green marketing agreement » concernant l'eau utilisée durant la saison de croissance des plantes.	11
Tableau 2. Présence de pesticides dans les cours d'eau au Québec.....	14
Tableau 3. Principaux microorganismes présents chez le porc, la volaille, le bovin et les humains, transmissibles à l'humain par la voie fécale-orale.....	15
Tableau 4. Présence d' <i>E. coli</i> ou de coliformes fécaux dans les cours d'eau au Québec.....	16
Tableau 5. Présence de coliformes fécaux dans les étangs servant à l'irrigation dans la région de la Montérégie en 2007.....	17
Tableau 6. Survie de différents groupes de microorganismes dans le sol et sur les plantes.....	18

1. Introduction

1.1 Mise en contexte

Les problèmes associés à la salubrité des fruits et légumes peuvent causer des pertes importantes pour les producteurs horticoles. Plusieurs cas d'épidémies ont été associés à la consommation de fruits et légumes frais contaminés. Notons particulièrement l'épisode de 2006, où la présence d'*Escherichia coli* (*E. coli*) O157:H7 dans des épinards produits aux États-Unis avait engendré des pertes importantes pour les producteurs québécois.

La proximité entre les élevages et les sites de production de fruits et légumes soulève des interrogations de la part des acheteurs. Très peu d'information est disponible sur les risques réels de contamination des cultures horticoles lorsque celles-ci sont à proximité d'élevages et/ou de pâturages.

Par ailleurs, plusieurs municipalités, encouragées par la réglementation provinciale, sont à l'heure des choix concernant la disposition des matières organiques résiduelles : épandage sur des terres agricoles, compostage, production de biogaz ou autres technologies. Cependant, peu importe la technologie, il apparaît que les résidus seront, en totalité ou en partie, offerts au milieu agricole. Cette revue de littérature vise à documenter les risques potentiels liés à l'utilisation de fertilisants organiques dans un pâturage ou un champ à proximité d'une production horticole.

1.2 Réglementation en vigueur

1.2.1 Utilisation d'engrais de ferme en horticulture

Au Québec, la gestion des déjections animales est régie par le Règlement sur les exploitations agricoles (REA) (Loi sur la qualité de l'environnement L.R.Q., c. Q-2, r.26). Dans le REA, les déjections animales contiennent par définition l'urine et les matières fécales animales. Les litières utilisées comme absorbants, les eaux souillées et les eaux de précipitations qui sont entrées en contact avec ces déjections sont également incluses dans la définition. Les dispositions du REA favorisent le stockage et l'utilisation judicieuse des engrais de ferme, de façon à protéger les milieux naturels, ainsi que les eaux de surface et souterraines.

Le stockage d'engrais de ferme en amas de fumier solide au champ est permis dans la mesure où :

1. les eaux contaminées en provenance de l'amas n'atteignent pas les eaux de surface;
2. les eaux de ruissellement n'atteignent pas l'amas;
3. l'amas est situé à au moins 100 m de l'emplacement d'un amas enlevé depuis 12 mois ou moins;
4. l'amas est conformément enlevé, valorisé ou éliminé dans les 12 mois suivant le premier apport de fumier solide le constituant;
5. l'amas ne contient pas plus de 2 500 kg de phosphore (P_2O_5) et est utilisé pour fertiliser le champ où il est situé ou un champ contigu au cours de la saison de culture où il a été constitué.

En résumé, il est interdit d'épandre des engrais de ferme:

1. dans un cours d'eau ou un plan d'eau ainsi qu'à l'intérieur de la bande riveraine dont les limites sont définies par règlement municipal. L'épandage doit également être fait de manière à ce que les déjections animales ne ruissellent pas vers ces espaces;
2. en l'absence de réglementation municipale concernant les bandes riveraines, il est interdit d'épandre dans un cours d'eau, un lac, un marécage d'une superficie minimale de 10 000 m² ou dans un étang ainsi qu'à l'intérieur d'une bande de 3 m de ceux-ci, de même que dans un fossé agricole et à l'intérieur d'une bande de 1 m de ce fossé;
3. si le sol est gelé ou enneigé.

1.2.2 Utilisation de matières résiduelles fertilisantes en agriculture

Les principaux types de matières résiduelles fertilisantes (MRF) pouvant être utilisés en agriculture sont les biosolides papetiers et municipaux, les amendements calciques ou magnésiens et les composts (MDDEP, 2012a). L'utilisation de ces produits est régie par un cadre législatif complexe ralliant tous les paliers gouvernementaux.

En ce qui a trait à la gestion des biosolides municipaux, Environnement Canada administre à l'échelle fédérale l'ensemble de la production, du traitement, de la vente et de l'utilisation des biosolides municipaux via la Loi canadienne sur la protection de l'environnement (Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME), 2010). Les provinces régissent l'entretien et l'exploitation des installations d'épuration des eaux usées et/ou de compostage, de même que le traitement, l'utilisation et l'élimination (incluant l'épandage) des biosolides municipaux (CCME, 2010).

Au Québec, le Ministère du développement durable, de l'environnement, de la Faune et des parcs (MDDEFP) gère les MRF via la Loi sur la qualité de l'environnement. Les MRF sont classées selon la classification C-P-O-E, selon leur teneur en contaminants chimiques (C) (annexe 1), en agents pathogènes (P) (annexe 2), leurs caractéristiques d'odeur (O) et leur teneur en corps étrangers (E). Leur épandage nécessite l'obtention d'un certificat d'autorisation (CA) émis par le Ministère, sauf dans certains cas particuliers. Le *Guide sur le recyclage des MRF* rapporte les opérations qui sont assujetties à l'obtention d'un CA (MDDEP, 2012a).

En agriculture, l'article 29.1 du REA interdit l'épandage sur des cultures destinées à la consommation humaine ou dans un pâturage des matières fertilisantes ainsi que tout produit en contenant :

1. le compost de tout ou partie du cadavre d'un mammifère ou d'une volaille, y compris celui qui provient de l'extérieur du Québec;
2. les boues provenant d'un ouvrage d'assainissement des eaux usées municipales ou de tout autre système de traitement ou d'accumulation d'eaux usées sanitaires, y compris celles qui proviennent de l'extérieur du Québec.

Cette interdiction ne s'applique cependant pas :

1. aux matières fertilisantes certifiées conformes aux normes CAN/BNQ 0413-200, CAN/BNQ 0413-400 et BNQ 0419-090;
2. aux composts de résidus alimentaires, composés de matières organiques, végétales et animales, de fabrication domestique ou provenant de la préparation, de la consommation et de la distribution d'aliments et de boissons;
3. au compost de boues provenant d'une usine de traitement des eaux usées d'abattoir, d'une usine d'équarrissage ou d'une autre usine de transformation de la viande.

De façon générale, il est interdit d'épandre des MRF de catégorie P2 sur des cultures vivrières destinées à l'alimentation humaine ou sur des pâturages durant une même saison de croissance. En bref, les produits classés P2 doivent contenir moins de 2 000 000 NPP/ g d'*E. coli* et ne doivent pas contenir de salmonelles. L'annexe 2 présente les autres caractéristiques quant au traitement des produits. L'épandage est toutefois permis si des délais précis sont respectés entre l'épandage des MRF classés P2 et la récolte ou le retour des animaux au pâturage. Il est donc permis de cultiver des produits destinés à la consommation humaine sur un champ où ont été épandues des MRF classés P2 si le délai entre l'épandage et la récolte est supérieur à 36 mois (produits touchant le sol) ou 14 mois (produits au-dessus du sol). Pour les cultures récoltées pour une consommation animale, un délai de 30 jours est requis. Les distances séparatrices ainsi que les contraintes concernant l'utilisation de MRF pour la protection de l'eau, de l'air, du sol, de l'innocuité des cultures et du public sont présentées aux annexes 3 et 4.

Quelques entreprises de production de compost se sont vues octroyer une certification BNQ (normes 0413-400 et 0413-200) pour des amendements issus du traitement de biosolides municipaux ou du compostage de produits comportant des biosolides municipaux et des fumiers. La liste des produits certifiés est disponible sur le site du BNQ (www.bnq.qc.ca).

À l'instar du Canada, la réglementation américaine stipule que les biosolides municipaux doivent être traités de façon à abattre les populations de microorganismes pathogènes avant une utilisation agricole (Jacobsen et Bech, 2012; Lu *et al.*, 2012; Iranpour *et al.*, 2004; U.S. EPA, 1993). Les biosolides de classe A (coliformes fécaux < 1000 NPP/g, *Salmonella* < 3 NPP/g, virus entériques < 3 UFP/g et <1 œuf d'helminthe viable/ 4g) peuvent être valorisés dans des cultures de fruits et légumes sans restriction. Les biosolides de classe B (*E. coli* < 2 000 000 NPP/g) peuvent également être utilisés, mais les délais suivants doivent être respectés :

1. 30 jours si la partie comestible de la culture ne touche pas le sol;
2. 14 mois si la partie comestible de la culture est au dessus du sol mais touche le sol;
3. 20 mois si partie comestible de la culture est dans le sol où le biosolide est demeuré plus de 4 mois sur le sol avant incorporation;
4. 38 mois si la partie comestible de la culture est dans le sol où le biosolide est demeuré moins de 4 mois sur le sol avant incorporation.

En ce qui a trait aux composts, les *Lignes directrices pour la qualité du compost*, émises en 2005 par le CCME, donnent les définitions et les teneurs en éléments traces, organismes pathogènes, contaminants organiques et en corps étrangers maximales que doivent contenir les composts (CCME, 2005). Ce document est disponible sur le site Internet du CCME (www.ccme.ca). En résumé, un compost est un produit solide mature issu d'un procédé dirigé de biooxydation d'un substrat organique hétérogène solide incluant une phase thermophile. Deux catégories de composts ont été établies, soit les types A et B, selon l'utilisation finale du produit, ainsi que leur teneur en éléments traces, corps étrangers et organismes pathogènes. Les teneurs maximales en ces paramètres sont présentées à l'annexe 5. En ce qui a trait aux microorganismes, les composts qui ne sont pas exclusivement constitués de résidus de jardin doivent contenir moins de 1000 NPP/ g d'*E. coli* et moins de 3 salmonelles/ 4 g et ce, peu importe leur catégorie. Les composts de type A peuvent être utilisés à n'importe quelle fin, alors que l'utilisation des composts de type B est restreinte. Le contrôle de ces derniers est laissé à la discrétion des provinces et territoires.

Les teneurs maximales en éléments traces des composts de type A correspondent à la catégorie C1 des MRF décrites par le MDDEFP.

1.2.3 Irrigation des cultures horticoles

Bien qu'il n'existe pas de réglementation générale officielle au Canada concernant la qualité de l'eau à utiliser pour l'irrigation des cultures horticoles, le CCME a émis depuis 1987 plusieurs recommandations pour la qualité de l'eau en vue de protéger les utilisations de l'eau à des fins agricoles. Plusieurs pesticides, éléments chimiques et paramètres biologiques font l'objet de ces recommandations. Le résumé pour l'eau d'irrigation est présenté à l'annexe 6. Par contre, en vertu des règlements sur l'utilisation des MRF, il est interdit d'utiliser des eaux usées non traitées pour irriguer.

1.3 Programmes de salubrité à la ferme

Faisant face aux exigences grandissantes des acheteurs grossistes en matière de salubrité des fruits et légumes, l'industrie horticole s'est mobilisée en instaurant des programmes de salubrité à la ferme. À l'aide de ces programmes, l'industrie établit notamment des règles à suivre par les producteurs agricoles quant à la qualité de l'eau d'irrigation, la proximité des élevages et l'utilisation des engrais de ferme et des MRF. Les prochaines sections décrivent brièvement les principaux organismes et/ou programmes présentement en vigueur quant à ces paramètres.

1.3.1 Initiative mondiale sur la salubrité alimentaire (IMSA)

Cette organisation à but non lucratif, mieux connue sous son acronyme anglais « GFSI » pour « Global Food Safety Initiative » a été initiée en 2000 par l'industrie et rassemble des experts internationaux en salubrité des aliments. Ceux-ci ont développé une approche globale harmonisée de la gestion de la salubrité des aliments et ont instauré des standards de qualité. L'IMSA n'émet pas directement de certification aux producteurs agricoles, emballeurs et entrepositaires de fruits et légumes. Toutefois, les organismes gestionnaires des programmes de salubrité peuvent être accrédités et donc reconnus compétents pour accréditer les intervenants en terme de salubrité à la ferme. Le programme CanadaGAP, élaboré à l'intention des producteurs, emballeurs et entrepositaires de fruits et légumes frais a notamment été accrédité conforme aux exigences de l'IMSA.

1.3.2 « CanadaGAP »

Fondé selon une analyse du risque basé sur les principes de l'analyse des dangers et maîtrise des points critiques (HACCP), le programme CanadaGAP a été officiellement mis sur pied en 2008 après plusieurs années de travail du Conseil canadien de l'horticulture (CCH) en salubrité des aliments à la ferme. Ce programme, le premier à l'échelle canadienne conforme aux exigences de l'IMSA, rassemble deux guides de bonnes pratiques : fruits et légumes et produits de serres. Depuis 2012, l'organisme sans but lucratif CanAgPlus gère de façon indépendante le programme CanadaGAP. Au Canada, plus de 2000 entreprises sont certifiées conformes aux exigences de ce programme. Les détails du programme, ainsi que les guides peuvent être consultés au www.canadagap.ca.

Le programme CanadaGAP n'exige pas un contenu microbiologique spécifique pour l'eau d'irrigation. Par contre, il faut vérifier annuellement la présence des risques suivants dans l'environnement de la source d'eau :

- taux d'activité anormalement élevé des animaux et des oiseaux sauvages
- accès par le bétail, les animaux domestiques et les oiseaux
- usage récréatif
- sources de contamination en amont
- ruissellement ou déversement de produits chimiques à usage agricole, de fumier, d'huile, de carburant, etc.
- contamination de la tuyauterie
- état du puits
- infiltration, dans les puits enfouis, d'eau provenant d'un terrain inondé
- entreposage de boyaux d'irrigation dans un endroit où ils pourraient être contaminés.

Si un ou plusieurs éléments de cette liste sont présents dans l'environnement de la ferme, il est fortement recommandé de procéder à l'analyse des coliformes totaux et des *E. coli* par un laboratoire accrédité à la norme équivalente ISO 17025. Les critères retenus sont tirés des Recommandations pour la qualité de l'eau en vue de protéger les utilisations de l'eau à des fins agricoles du CCME, soit des maxima de 1000 coliformes totaux par 100 mL d'eau, et 100 *E. coli* par 100 mL d'eau. Des mesures préventives et correctives sont également présentées dans les guides. Par exemple, il est proposé de laisser des zones tampons, d'implanter des haies brise-vent et des clôtures ou d'éviter de cultiver des denrées destinées à la consommation humaine si les risques sont jugés trop importants (annexe K des Guides de salubrité des aliments CanadaGAP, accessible au <http://www.canadagap.ca/fr/manuals/manualdownloads/>).

Répondant à la réglementation canadienne, ce programme interdit l'usage de boues municipales sur des cultures de fruits et légumes frais. L'interdiction s'applique aussi aux années de rotation des cultures et aux produits certifiés BNQ (Heather Gale, communication personnelle). Les fumiers peuvent être appliqués dans des cultures de fruits et légumes frais l'année de la récolte seulement si le délai entre l'épandage et la récolte est supérieur à 120 jours. L'information sur la source des fertilisants et l'entreposage de ceux-ci doit notamment être consignée dans des registres accessibles lors de l'évaluation de l'entreprise pour son adhésion au programme.

1.3.3 « Leafy green marketing agreement »

Suite à l'épisode des épinards contaminés au *E. coli* O157:H7, l'industrie californienne, en collaboration avec des experts scientifiques en salubrité, ont créé en 2007 leur propre programme de salubrité à la ferme, le « California leafy green products handler marketing agreement (LGMA) ». Les cultures visées par ce programme sont les laitues (iceberg, romaine, frisée mesclun), l'escarole, l'endive, les choux (vert, rouge, kale et de Savoie), la roquette, la bette à carde et l'épinard. À l'instar des autres programmes, les bonnes pratiques de production ainsi que les exigences en matière d'eau d'irrigation et d'engrais organiques y sont décrites.

Les exigences concernant l'eau utilisée avant la récolte sont présentées au tableau 1. Advenant le cas où les populations d'*E. coli* dépasseraient les critères exigés, des analyses de *Salmonella* et d'*E. coli* O157:H7 doivent être menées sur des échantillons prélevés dans les cultures. La présence d'un de ces deux microorganismes empêchera la récolte de la culture à des fins de consommation humaine.

Tableau 1. Exigences du « Leafy green marketing agreement » concernant l'eau utilisée durant la saison de croissance des plantes.¹

Paramètre	Description	Exigence (NPP <i>E. coli</i> / 100 mL)
<i>E. coli</i> générique	l'eau <u>n'est pas</u> en contact avec la partie comestible du produit	moyenne géométrique de 5 échantillons ≤ 126 aucun échantillon > 576
	l'eau est en contact avec la partie comestible du produit	moyenne géométrique de 5 échantillons ≤ 126 aucun échantillon > 235

¹ex : irrigation, application de pesticides.

Les exigences concernant l'utilisation de fumiers et/ou de MRF dans les cultures de légumes verts feuillus sont importantes. Il est interdit de récolter les légumes issus de champs où, l'année même, l'épandage de fertilisants contenant des fumiers non compostés ou inadéquatement compostés aurait été effectué. Ensuite, il est interdit d'épandre des composts contenant des matières fécales animales ou des produits animaux après l'émergence de la culture ou lorsque le délai entre l'épandage et la récolte est inférieur à 45 jours. Ces composts ne doivent pas contenir de *Salmonella*, d'*E. coli* O157:H7 et les populations de coliformes fécaux doivent être inférieures à 1000 NPP/ g. Les composts ayant subi un traitement thermique, dont l'utilisation est moins restrictive, ne doivent pas contenir de coliformes fécaux, de *Salmonella* ou d'*E. coli* O157:H7.

Le programme introduit la notion de distance recommandée entre les champs en culture et les zones propices à la présence d'animaux domestiques ou sauvages potentiellement porteurs de microorganismes pathogènes pour l'humain. Ainsi, une zone tampon de 400 pieds (121 m) entre le champ et une zone où se font le compostage de fumiers (incluant ou non des produits animaux) ou l'élevage intensif d'animaux. Une entreprise est décrite comme faisant l'élevage intensif si, par exemple, y sont élevés un minimum de 200 vaches laitières, 300 veaux, 300 bovins (autres que laitiers), 750 porcs de 25 kg, 16 500 dindes ou 37 500 poulets (sous régie solide des fumiers). La même zone tampon est exigée d'un amas d'engrais organique contenant des fumiers ou des produits animaux. Une distance de 30 pieds (9 m) est exigée entre le champ en culture et un pâturage ou un champ d'épuration des eaux usées sanitaires.

Aucun fumier ne doit être épandu ou stocké à moins de 200 pieds (61 m) d'un puits, et au moins 100 ou 200 pieds (30 ou 61 m) (selon le type de sol) doivent séparer des fumiers non traités d'une source d'eau de surface.

Ces distances peuvent par contre être augmentées ou réduites en fonction de la topographie et de la présence de barrières physique ou végétale permettant un contrôle du ruissellement de surface et l'intrusion des animaux.

Au Canada, l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) exige que les compagnies californiennes qui importent des légumes verts feuillus au Canada soient accréditées par le LGMA (ACIA, 2011).

2. Revue de littérature basée sur l'analyse du risque

2.1 Identification des dangers

2.1.1 Dangers physiques

La catégorie E établie par le MDDEFP pour les MRF concerne les corps étrangers et cailloux pouvant se retrouver dans les produits de fertilisation. Ces corps étrangers ont surtout un impact sur la qualité esthétique de ceux-ci et incluent notamment les morceaux de métal, de verre, de plastique, etc., qui mesurent plus de 2 mm. Bien qu'ils ne soient pas couverts dans le guide sur le recyclage des matières résiduelles fertilisantes, les engrais de ferme peuvent également contenir ces particules indésirables. Dans le contexte de cette étude, ces dangers ne représentent pas de risque supplémentaire pour les cultures horticoles à proximité des sites où seraient valorisés des fertilisants en comportant. En effet, même si ce type de particules se rendait aux cultures à partir d'un champ adjacent via le ruissellement de surface par exemple, il est très peu probable que leur présence dans la culture horticole persiste dans les produits suite à la récolte et qu'ils se rendent jusqu'au consommateur. Ces dangers ne seront donc pas pris en considération dans les sections suivantes.

2.1.2 Dangers chimiques

Plusieurs dangers chimiques peuvent faire l'objet de préoccupations dans le contexte de cette revue, notamment les éléments traces métalliques (Hsu et Lo, 2001), les antibiotiques et leurs résidus (Dolliver *et al.*, 2008), les composés issus de l'industrie (ex : BPC, dioxines, furannes), les pesticides (MDDEP, 2012b), les produits pharmaceutiques, médicaments, hormones et produits de soins personnels (Sabourin *et al.*, 2012; Kang *et al.*, 2005).

Le MDDEFP a établi 2 classes (C1 et C2) selon leur teneur en composés chimiques, tels que les métaux et éléments inorganiques et les contaminants organiques. Les teneurs limites associées à chaque catégorie sont présentées à l'annexe 1. L'utilisation de MRF de catégorie C2 dans des champs agricoles n'est pas interdite, quoiqu'un suivi soit exigé afin d'éviter de charger les sols en ces éléments. L'annexe 4 présente les restrictions supplémentaires associées à ce type de MRF. Puisque ces éléments peuvent être présents dans les MRF et engrais de ferme, l'évaluation du risque doit être poursuivie. Par contre, il faut que ces produits se rendent jusqu'aux cultures horticoles et s'y lient ou soient prélevés par celles-ci pour que le risque sanitaire soit présent. Ces options seront brièvement élaborées dans la section 2.2.

L'eau d'irrigation peut également contenir des produits chimiques pouvant représenter un risque sanitaire pour les cultures horticoles. Le *Portrait de la qualité des eaux de surface au Québec 1999-2008*, publié en 2012 par le MDDEFP, présente notamment des résultats sur la présence de pesticides, de

métaux, de substances toxiques et de contaminants chimiques d'intérêt émergent dans l'eau des rivières du Québec (MDDEP, 2012b).

En ce qui a trait aux pesticides, l'eau de surface utilisée pour irriguer les cultures horticoles peut contenir des concentrations de produits pouvant causer des problèmes d'une part aux cultures et d'autre part, à la santé humaine. Le tableau 2 présente les niveaux de pesticides détectés dans certains cours d'eau du Québec. D'une façon générale, les cours d'eau présents dans les principales régions maraîchères contiennent des niveaux préoccupants de pesticides (MDDEP, 2012b). Il est toutefois important de noter que les recommandations du CCME pour l'eau d'irrigation ont été émises dans une optique de protection des cultures et non pas de santé publique.

Bien que présents dans les cours d'eau, particulièrement en zone minière, les métaux (baryum, béryllium, fer, chrome, cadmium, cuivre, plomb, zinc) ne devraient pas représenter un risque sanitaire des cultures horticoles via l'irrigation. En effet, les concentrations présentes dans l'eau de surface respectent généralement les critères de protection de la vie aquatique (MDDEP, 2012b) et par le fait même, la majorité des recommandations du CCME pour l'eau d'irrigation. Pour cette raison, l'évaluation du risque relatif aux métaux transmis aux cultures via l'eau d'irrigation ne sera pas poursuivie.

Tableau 2. Présence de pesticides dans les cours d'eau au Québec.

Source de l'échantillon	Région	Année	Simazine	Atrazine	Métolachlore	Linuron	Métribuzine	Dicamba	MCPA	Bromoxynil	Chlorothalonil
			µg/L								
Rivière l'Assomption ¹	Lanaudière	2007	.4	0,37	0,18	0,21	0,01	0,12	.	.	.
ruisseau St-Georges	Lanaudière	1998	.	0,21	0,24	0,03	0,01	0,07	525,12	0,01	.
ruisseau St-Pierre	Lanaudière	2007	.	0,20	0,04	.	.	0,08	.	.	.
ruisseau Rousse	Laurentides	2007	0,02	0,22	0,27	.	0,02	0,05	< 0,01	.	5,02
ruisseau Chicot	Laurentides	2007	< 0,01	0,05	0,13	.	0,02	0,16	0,02	.	< 0,04
Rivière Yamaska ²	Montérégie	2007	0,003	0,02	0,01	.	<0,02	0,01	0,001	.	<0,04
le Ruisseau	Montérégie	2007	0,01	0,03	0,02	.	<0,02	0,002	<0,01	.	0,001
Ruisseau Gibeault-Delisle ³	Montérégie	2007	.	0,2	4,2	100	11	0,05	0,03	0,15	7,1
Rivière Chibouet	Montérégie	2010	0,0001	0,525	0,543	.	.	0,024	0,022	0,008	.
Rivière des Hurons	Montérégie	2010	0,005	0,36	0,372	.	0,005	0,064	0,035	0,002	.
Rivière St-Régis	Montérégie	2010	.	0,199	0,661	0,023	0,036	0,136	0,012	.	.
Rivière St-Zéphirin	Centre-du-Québec	2010	0,001	1,269	0,326	.	0,016	0,072	0,02	.	.
Recommandation du CCME pour l'irrigation			0,5	10	28	0,07	0,5	0,006	25	0,33	5,8

¹ Les données sont une moyenne de la Rivière de l'Achigan, la Rivière Saint-Esprit et le ruisseau Vacher.

² Les données sont une moyenne de la branche 19 du ruisseau Noir, le ruisseau Dupuis, la Rivière l'Antelle, la Rivière à la Barbue, le ruisseau à la Cenelle et la décharge des Douze.

³ Les données sont les concentrations maximales observées.

⁴ Les points représentent une analyse non effectuée et les données en caractère gras dépassent les critères recommandés pour l'irrigation.

Adapté de MDDEP (2012c), MDDEP (2010), Fédération de l'UPA de Lanaudière (2008a, 2008b), Fédération de l'UPA de St-Hyacinthe (2008), Syndicat horticole et fruitier Outaouais-Laurentides (2008)

2.1.3 Dangers biologiques

Dans le contexte de cette revue de littérature, les principaux microorganismes pouvant représenter des dangers biologiques sont d'origine fécale et sont transmis par la voie fécale-orale. La présence de microorganismes potentiellement pathogènes pour l'humain dans les fumiers (Douglas Inglis *et al.*, 2010; Côté *et al.*, 2006; Avery *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2002; Olson, 2001), les MRF et composts (Makni *et al.*, 2009 Sidhu et Toze, 2009; Guzmán *et al.*, 2007; Avery *et al.*, 2005; Zaleski *et al.*, 2005; Jones et Martin, 2003) a été largement étudiée. Le tableau 3 présente les principaux microorganismes susceptibles de se retrouver dans les matières fécales de porc, de bovin, de volaille et d'humain et qui sont potentiellement transmissibles par la voie fécale-orale à l'humain.

Le système digestif des animaux à sang chaud et des humains contient de façon habituelle un nombre important de microorganismes qui sont, dans la plupart des cas, inoffensifs. C'est le cas par exemple de la plupart des types de bactéries *E. coli*. Dans les études environnementales, cette bactérie est d'ailleurs souvent utilisée comme indicateur de contamination fécale. Les matières fécales sont également susceptibles de contenir des microorganismes potentiellement pathogènes qui peuvent causer des maladies dont la nature et la gravité varieront en fonction du système immunitaire de l'hôte et du microorganisme. Les animaux d'élevage sont les réservoirs de quelques microorganismes, que ce soit des bactéries, des virus ou des parasites, qui sont potentiellement transmissibles à l'humain et qui peuvent causer la maladie (Comité de santé environnementale du Québec, 2000). Ce sont des microorganismes zoonotiques. L'humain est également sensible à des microorganismes qui lui sont exclusifs et qui ne causent pas de maladie chez les animaux. D'ailleurs, peu de virus présents chez les animaux d'élevage sont transmissibles à l'humain par la voie fécale-orale.

Tableau 3. Principaux microorganismes présents chez le porc, la volaille, le bovin et les humains, transmissibles à l'humain par la voie fécale-orale.

	Porc	Bovin	Volaille	Humain
Bactéries	<i>Salmonella</i> <i>Yersinia enterocolitica</i> <i>Campylobacter coli</i>	<i>Salmonella</i> <i>E. coli</i> vérotoxino-gènes (VTEC) <i>Listeria monocytogenes</i>	<i>Salmonella</i> <i>C. jejuni</i>	<i>Salmonella</i> VTEC <i>C. jejuni</i> <i>Shigella</i> <i>L. monocytogenes</i> <i>Helicobacter pylori</i>
Virus	Hépatite E <i>Norovirus</i> <i>Rotavirus</i>	<i>Norovirus</i> <i>Rotavirus</i>		Hépatites A et E <i>Adenovirus</i> <i>Norovirus</i> <i>Rotavirus</i>
Parasites	<i>Cryptosporidium</i> <i>Giardia</i> <i>Ascaris suum</i> <i>Balantidium</i>	<i>Cryptosporidium</i> <i>Giardia</i>		<i>Cryptosporidium</i> <i>Giardia</i> <i>Cyclospora cayetanensis</i> <i>Enterobius vermicularis</i> <i>Ascaris lumbricoïdes</i> <i>Taenia saginata</i>

Au Québec, plusieurs études hydrogéologiques finalisées en 2008 ont permis l'acquisition de connaissances quant à la caractérisation de l'eau utilisée en agriculture. Puisque l'eau souterraine est généralement de meilleure qualité que l'eau de surface, l'analyse du risque ne sera pas poursuivie pour cette ressource. Par contre, l'eau de surface représente une source potentielle de microorganismes pathogènes pour l'humain. Les résultats des études réalisées antérieurement ont démontré la présence souvent importante de bactéries *E. coli* dans l'eau. Cette bactérie est utilisée comme étant un indicateur d'une contamination fécale récente et de la présence potentielle, mais non certaine, de microorganismes pathogènes. Les tableaux 4 et 5 présentent un résumé des résultats microbiologiques d'échantillons prélevés dans des cours d'eau et des étangs de ferme, respectivement. L'évaluation du risque lié à l'eau de surface utilisée pour l'irrigation doit être poursuivie.

Tableau 4. Présence d'*E. coli* ou de coliformes fécaux dans les cours d'eau au Québec.

Nom du cours d'eau	Région	Nombre d'échantillons prélevés	Populations de coliformes fécaux dans l'eau		
			Moyenne ¹	Minimum	Maximum
UFC/ 100 mL					
Rivière Ouareau	Lanaudière	10	392	25	1 900
ruisseau Vacher	Lanaudière	14	1050	5	5 200
ruisseau St-Georges	Lanaudière	10	5 900	5 000	> 6 000
Rivière St-Esprit	Lanaudière	30	910	8	> 6 000
Rivière de l'Achigan	Lanaudière	50	1 492	18	> 6 000
ruisseau St-Pierre	Lanaudière	10	1 980	500	> 6 000
ruisseau Rousse	Laurentides	118	1057	20	34000
Ruisseau Chicot	Laurentides	91	1726	< 10	23000
Rivière Du Chêne	Laurentides	35	7274	70	60000
Rivière St-Jean	Lanaudière	14	580	20	2 100
ruisseau de la Cenelle	Montérégie	3	520	>60	1 300
décharge des Douze	Montérégie	3	903	>60	1 300
Rivière l'Antelle	Montérégie	3	123	10	330
Rivière à la Barbue	Montérégie	3	713	>60	1 600
branche 19 du ruisseau Noir	Montérégie	3	613	>60	1 200
ruisseau Dupuis	Montérégie	3	9 333	>60	11 000
le Ruisseau	Montérégie	3	1230	>60	2700
Recommandation du CCME pour l'eau d'irrigation					100

¹ Les moyennes sont calculées en considérant que les données inférieures à la limite de détection sont égales à 0. Les données incertaines (> ou < x) ne sont pas comptées dans les moyennes. Les données en caractères gras dépassent la recommandation du CCME pour l'irrigation.

Adapté de Fédération de l'UPA de Lanaudière (2008a, 2008b), Fédération de l'UPA de St-Hyacinthe (2008)

Tableau 5. Présence de coliformes fécaux dans les étangs servant à l'irrigation dans la région de la Montérégie en 2007.

Point de prélèvement	Nombre d'échantillons prélevés	Populations de coliformes fécaux ¹		
		Moyenne ²	Minimum	Maximum
			UFC/ 100 mL	
Farnham	11	32	4	180
Ange-Gardien	7	34	<1	>60 000
St-Damase	11	868	<1	4 500
St-Hyacinthe	3	87	<10	260
Ste-Marie-Madeleine	8	189	1	700
St-Paul-d'Abbotsford	11	72	10	610
St-Pie	8	93	20	340
Ste-Sabine	4	0,3	1	<10
Recommandation du CCME pour l'irrigation			100	

¹ Les données en caractères gras dépassent la recommandation du CCME pour l'irrigation.

² Les moyennes sont calculées en considérant que les données inférieures à la limite de détection sont égales à 0. Les données incertaines (> ou < x) ne sont pas comptées dans les moyennes.

Adapté de Fédération de l'UPA de St-Hyacinthe (2008)

2.2 Caractérisation des dangers

Bien que plusieurs contaminants chimiques et microorganismes pathogènes soient potentiellement présents dans l'eau de surface, les fumiers, composts et MRF, il est nécessaire d'étudier leur potentiel de survie et de transport dans l'environnement et sur les cultures afin de bien décrire le risque lié à leur présence.

2.2.1 Survie et transport des contaminants biologiques dans l'environnement et sur les cultures horticoles

Suite à l'épandage des engrais organiques dans les champs agricoles, la survie des microorganismes dans l'environnement varie notamment en fonction du type (virus vs bactéries vs parasites) et du nombre initial de microorganismes, des conditions climatiques, de la compétition pour les nutriments, et des propriétés du sol telles que la texture et le pH (van Elsas *et al.*, 2011; Lang et Smith, 2007; Vidovic *et al.*, 2007; Scott *et al.*, 2006; Unc et Goss, 2004; Cools *et al.*, 2001; Dowe *et al.*, 1997).

L'infiltration des microorganismes dans le sol est surtout influencé par la texture de celui-ci; les sables ayant des taux d'infiltration plus élevés que les sols plus imperméables (Larsen *et al.*, 1994). Le degré d'humidité et le pH ont aussi un impact important sur le transport dans le sol (Reddy *et al.*, 1981). En fait, plus l'humidité et le pH baissent, plus le taux de mortalité augmente. Les drains présents dans les sols agricoles (Jamieson *et al.*, 2002) et le ruissellement de surface, via des voies d'écoulement préférentielles ou des fentes de retrait, font partie des routes possibles de contamination de l'eau de surface. Les bactéries sont rarement présentes dans l'eau libre du sol, elles adhèrent plutôt aux

particules d'argile (Jamieson *et al.*, 2002). Les pratiques agricoles réduisant l'érosion de surface, telles que l'implantation de bandes riveraines d'une largeur adéquate, pourraient permettre par le fait même de réduire les risques de contamination biologique de l'eau de surface.

Les propriétés physico-chimiques des fumiers ont également un impact sur le transport des bactéries dans le sol suite à l'épandage. Unc et Goss (2004) ont en effet rapporté un risque de transport plus important lorsque le contenu des fumiers en ions et en carbone soluble et colloïdal était élevé. Ces composés s'allient aux particules de sol et empêchent par le fait même que les microorganismes demeurent attachés au sol, augmentant les risques de ruissellement et de lessivage.

Bien que les études présentent des résultats très variables, la survie des microorganismes dans l'eau et le sol peut toutefois s'avérer importante (Jacobsen et Bech, 2012; Jiang *et al.*, 2004; Guan et Holley, 2003; Jamieson *et al.*, 2002; Santo Domingo *et al.*, 2000). L'article de Gerba et Smith (2005) a passé en revue plusieurs études et a décrit la réglementation existante aux États-Unis sur la fertilisation des cultures par des biosolides. Le tableau 6 présente des données rapportées par cette équipe quant à la survie des différents groupes de microorganismes dans le sol et sur les plantes. Toutefois, ces études ne présentent pas les concentrations de microorganismes présentes initialement, ce qui rend difficile l'interprétation de ces résultats.

Tableau 6. Survie de différents groupes de microorganismes dans le sol et sur les plantes.

Microorganismes	Sol		Plantes	
	Maximum absolu observé	Maximum généralement observé	Maximum absolu observé	Maximum généralement observé
Bactéries	1 an	2 mois	6 mois	1 mois
Virus	6 mois	3 mois	2 mois	1 mois
Protozoaires	10 jours	2 jours	2 jours	2 jours

Adapté de Gerba et Smith (2005)

Olson (2001) a rapporté les résultats de plusieurs études ayant porté sur la survie de quelques bactéries et parasites dans le sol et l'eau. Par exemple, la survie de *Salmonella* a dépassé 180 jours dans l'eau et ce, à différentes températures. Dans le sol, la survie de la bactérie a été supérieure à 84 jours à 0 et 5 °C, ainsi que de 28 jours à 30 °C. La survie de *Campylobacter* et d'*E. coli* O157:H7 (Guan et Holley, 2003), de même que *Listeria monocytogenes* (Jiang *et al.*, 2004) a également été étudiée dans le sol et l'eau, avec des résultats variables selon la température. D'une façon générale, une température plus basse permettait une survie plus importante. Par contre, ces études ne présentent pas les inoculums de départ, ce qui rend difficile l'interprétation. Lorsqu'elles se retrouvent dans l'environnement, la plupart des bactéries sont sensibles à différents facteurs abiotiques tels que le rayonnement UV et la dessiccation. La survie des bactéries suit souvent une décroissance exponentielle, tel que rapporté pour la bactérie *E. coli* dans le sol (Côté et Quessy, 2005), pour *E. coli* O157:H7 dans l'eau (Avery *et al.*, 2008) et pour *Salmonella* dans le sol (You *et al.*, 2006).

La survie dans l'environnement des virus entériques d'intérêt en santé humaine, tels les virus de l'hépatite A et E, les *Adenovirus*, les *Norovirus* et les *Rotavirus*, dépend de plusieurs facteurs, notamment le taux d'excrétion par l'hôte, la température, la susceptibilité d'inactivation par les rayons UV, l'adhérence aux matières solides, la présence de prédateurs, la pluviométrie et le débit des cours

d'eau (Fong et Lipp, 2005). La présence de virus entériques humains dans les environnements aquatiques peut être due à la mauvaise étanchéité des systèmes septiques et au ruissellement de surface dans les milieux agricoles et urbains (Fong et Lipp, 2005). Ces mêmes auteurs ont rapporté une survie de 120 et 100 jours dans l'eau et le sol, respectivement.

Les microorganismes peuvent également voyager dans l'air, via des bioaérosols. De dimension très variable (diamètre variant de 0,02 à 100 μm), ceux-ci peuvent être formés d'un ou plusieurs microorganismes liés à des particules d'eau ou de sol (Pillai et Ricke, 2002). Les concentrations de bioaérosols dans l'air varient particulièrement en fonction des conditions environnementales du site d'où ils proviennent. La vitesse des vents a également un impact important sur le risque pour la santé lié aux bioaérosols. Des températures et une radiation solaire élevées ainsi qu'une faible humidité ont un effet délétère sur les microorganismes voyageant en aérosol (Pillai et Ricke, 2002). Quelques études ont porté sur la survie et le transport des bioaérosols, mais très peu ont analysé le risque de contamination des cultures lié à cette voie de transmission (Matthews, 2013). Les études ont surtout porté sur le risque lié à l'inhalation de ces bioaérosols. L'étude de Dowd *et al.* (1997) qui a porté sur la présence de bactéries indicatrices dans l'air lors de l'épandage de biosolides, a d'abord suggéré que les bactéries du genre *Clostridium* étaient de meilleurs indicateurs de contamination dans les aérosols que les coliformes fécaux ou totaux. Les résultats ont aussi démontré une plus importante présence de bioaérosols aux sites où sont entreposés les biosolides, comparativement aux sites où ils sont épandus. Par exemple, des *Salmonella* et des *Clostridium* ont été détectées dans 27 et 73 % des échantillons prélevés au site d'entreposage, alors qu'une prévalence de 7 et 27 % a été mesurée au site d'épandage pour les 2 genres bactériens, respectivement. Les échantillons d'air étaient prélevés durant 60 minutes à une distance entre 15 et 30 m de la bordure des sites, à 1,5 m de hauteur. Pillai *et al.* (1996) ont fait le même constat, démontrant une prévalence plus importante de clostridies aux sites où les biosolides sont remués (sites d'entreposage et de chargement par les camions) plutôt qu'aux endroits où ils sont épandus. Par contre, Sorber *et al.* (1984) ont rapporté la présence de coliformes fécaux dans l'air à 50 m d'un site où étaient épandus des biosolides. Les volumes appliqués étaient toutefois importants, soit 380 000 m^3 par jour. Les conclusions de cette étude sont à l'effet que les risques pour la santé humaine liés aux aérosols produits lors de l'application de biosolides sont négligeables pour les individus résidant à plus de 100 m du site d'épandage. Brooks *et al.* (2005) ont développé un modèle empirique d'infection lié au transport de bioaérosols pour les résidents à proximité d'un site où sont épandus des biosolides. Les résultats suggèrent que le risque est faible, puisqu'un taux d'infection de 1 : 100 000 a été estimé pour les gens résidant à 30,5 m du site d'application et ce, en amont du sens du vent.

Les bâtiments d'élevage et l'épandage de fumiers peuvent également être une source de bioaérosols. Pillai et Ricke (2002) ont rapporté que l'industrie avicole, particulièrement les couvoirs, représentait une plus grande source de bactéries entériques dans l'air que les porcheries et les étables. Ravva *et al.* (2011) ont étudié l'air issu de deux fermes laitières considérées moyennes (800 à 1000 vaches en production) dans une zone de 2 à 3 m des bâtiments. Des échantillons de matières fécales (fraîches et fumier sec) ont également été prélevés afin de cibler la source potentielle de contamination de l'air. Les résultats suggèrent que la source des aérosols a été liée aux matières fécales dans le cas d'une des deux fermes. Malgré ce que les auteurs présument, les fumiers secs n'ont pas généré plus de bioaérosols que les matières fécales fraîches. Hutchison *et al.* (2008) ont échantillonné l'air à différentes distances d'un site où était épandu du lisier de porc inoculé avec un type d'*E. coli* résistant à l'acide nalidixique. Une moyenne de 324 et de 52 UFC/ m^3 a été détectée à 50 m et 125 m du site d'épandage, respectivement. Aucune bactérie n'a été détectée à 250 m du site d'application.

Le risque de contamination des cultures peut se produire à plusieurs niveaux, notamment via le sol contaminé (Matthews, 2013; Bezanson *et al.*, 2012; Park *et al.*, 2012; Guo *et al.*, 2002), via l'eau d'irrigation contaminée (souterraine ou de surface) (Fonseca *et al.*, 2011; Gelting *et al.*, 2011; Hutchison *et al.*, 2008; Ibekwe *et al.*, 2006; Pianetti *et al.*, 2006; Chaidez *et al.*, 2005; Steele *et al.*, 2005; Steele et Odumeru, 2004; Thurston-Enriquez, 2002; Wachtel *et al.*, 2002), ou suite au ruissellement de surface (Knox *et al.*, 2007; Meals et Braun, 2006; Patni *et al.*, 2005; Thurston-Enriquez *et al.*, 2005; Tyrrel et Quinton, 2003). Plusieurs étapes de la production des fruits et légumes, de la culture au champ jusqu'à la vente au détail, présentent des sources de contamination pour les produits. Pour les besoins de ce document, seule la contamination des cultures au champ durant la saison de croissance sera étudiée.

Certaines équipes ont tenté de quantifier le risque microbiologique via des modèles théoriques liés soit à l'épandage d'engrais organiques ou à l'irrigation avec de l'eau potentiellement contaminée. Par exemple, Stine *et al.* (2005) ont indiqué que le risque d'infection lié à la consommation de produits potentiellement contaminés suite à l'irrigation dépendait du type de culture, de la méthode d'irrigation (aspersion vs goutte-à-goutte) et du délai laissé entre la dernière irrigation et la récolte. Leur analyse a aussi indiqué que dans le pire scénario (calcul théorique), soit celui où les cultures sont récoltées le jour suivant la dernière irrigation, la présence de 2,5 UFC /100 mL d'eau pour *Salmonella* et 0,000 025 NPP /100 mL d'eau pour le virus de l'hépatite A est nécessaire pour atteindre le niveau de risque d'infection annuel acceptable de 1 cas pour 10 000 habitants.

Depuis quelques années, l'étude de l'internalisation des microorganismes pathogènes à l'intérieur des tissus des plantes ou de la formation de biofilms protecteurs à la surface des tissus a pris de l'ampleur. Le prélèvement de microorganismes par les plantes serait possible via les racines, les stomates ou des blessures à la surface des tissus. Ces phénomènes pourraient accroître les risques d'infection suite à la consommation de produits contaminés, car par exemple, le lavage ne permettrait pas de les assainir. De plus, l'effet assainissant des rayons ultraviolets (UV) du soleil ne pourrait pas être possible (Doyle et Heaton, 2008). Les études d'Erickson *et al.* (2010), Liao et Doyle (2010) et de Solomon *et al.* (2002) ont rapporté une persistance importante de microorganismes pathogènes dans les tissus internes des plantes, mais ces études ont toutes été réalisées dans des conditions contrôlées peu ressemblantes de celles rencontrées dans les champs au Québec. L'âge des feuilles de laitue a également été rapporté comme ayant un impact sur la présence et la persistance d'*E. coli* O157:H7, les feuilles plus âgées présentant moins de risque que les jeunes feuilles internes (Brandl et Amundsen, 2008). Par contre, cet impact a été démontré seulement lorsque les concentrations de microorganismes mis en contact avec les plants étaient très élevées. À de plus faibles concentrations en *E. coli* O157:H7 inoculées sur des laitues, Mootian *et al.* (2009) ont démontré que les tissus plus âgés étaient plus souvent contaminés que les jeunes feuilles. Les niveaux de contamination des tissus végétaux étaient toutefois faibles, puisque des méthodes d'analyse sensibles ont dû être utilisées afin de détecter les bactéries. Les limites de détection des méthodes ne sont toutefois pas mentionnées.

De façon générale, il est très difficile de prévoir le transport des microorganismes vers l'eau de surface ou souterraine, ou encore de mesurer le risque lié à la contamination des cultures par des résidus de matières fécales ou par des particules de sol contaminé suite à l'épandage. La gestion de l'irrigation et de l'application de fertilisants organiques, particulièrement en ce qui a trait au délai entre ceux-ci et la récolte, devrait être considérée comme mesure d'atténuation du risque. Il en sera question dans la section 3.

2.2.2 Transport et dégradation des contaminants chimiques dans l'environnement

Bien que certains contaminants chimiques soient reconnus comme étant présents dans les fertilisants organiques, certaines voies d'exposition n'ont pas été documentées suffisamment pour en faire état dans cette revue. C'est le cas par exemple du risque associé à :

- la dérive des pesticides appliqués dans une zone à proximité d'un champ horticole.
- la transmission des contaminants dits d'intérêt émergents (antibiotiques et leurs résidus, produits pharmaceutiques, médicaments, hormones et produits de soins personnels) via l'eau d'irrigation.

Bien que le risque pour la santé humaine associé à ces voies d'exposition ne soit pas documenté, il demeure toutefois potentiel et à ne pas négliger.

Quelques études ont porté sur le devenir et le transport de produits et éléments chimiques dans des sols amendés avec des biosolides ou des lisiers. En effet, il a été rapporté que la présence de biosolides dans le sol augmentait le risque de transport des pesticides dans l'environnement, puisque les pesticides se lient aux colloïdes formés lors de la dégradation des biosolides dans le sol, devenant ainsi plus sensibles aux événements de ruissellement (Graber *et al.*, 2001). De plus, Barriuso *et al.* (1996) ont démontré que l'adsorption des herbicides aux particules de biosolides était très élevée, diminuant ainsi leur biodégradation et les rendant par le fait même sensibles au ruissellement. Le transport des pesticides par ruissellement de surface diminue de façon exponentielle avec la distance, et dépend du produit lui-même, à la couverture du sol, aux pratiques culturales et aux propriétés physico-chimiques du sol (Clément *et al.*, 2000). Par exemple, ces auteurs ont démontré qu'une distance de 5,4 m était nécessaire pour diviser par dix les quantités de lindane, un insecticide organochloré, transportées suite à l'application sur une culture de maïs.

Le devenir des antibiotiques et leurs résidus a également fait l'objet de quelques études, que ce soit dans l'eau (Huang *et al.*, 2001), les sols agricoles fertilisés avec des lisiers ou MRF (Tanoue *et al.*, 2012; Heuer *et al.*, 2011; Chee-Sanford, 2009; Topp *et al.*, 2008; Blackwell *et al.*, 2007), ou dans les fumiers (Dolliver *et al.*, 2008; Dolliver et Gupta, 2008). Bien qu'aucune de ces études ne soient en lien avec la proximité de cultures horticoles, la dégradation de ces produits dans l'environnement agricole et le risque pour la santé humaine lié à leur présence sont encore mal connus, mais ne doivent pas être négligés. Par contre, Topp *et al.* (2008) ont démontré que l'injection des biosolides sous la surface du sol avait éliminé le ruissellement de surface de plusieurs produits pharmaceutiques et d'hygiène personnelle. Ainsi, la gestion des fertilisants organiques, présentée dans la section 3, permettrait d'atténuer le risque de contamination des champs horticoles à proximité quant au ruissellement de surface des antibiotiques et leurs résidus.

Les métaux présents dans les engrais organiques peuvent s'accumuler dans le sol suite à des applications répétées, ou être transportés par ruissellement ou lessivage (Hsu et Lo, 2001). Cette équipe a démontré que la décomposition de la matière organique, au cours du compostage de fractions solides de lisier de porc mis en amas, avait fait augmenter les concentrations de cuivre, de manganèse et de zinc solubles présents dans les amas. Malgré cette augmentation, ces auteurs ont cependant conclu que le risque de lessivage de ces éléments était faible. Outre les routes de dissémination via le sol, l'air s'avère également être une voie de transmission à ne pas négliger quant aux métaux toxiques. Legind et Trapp (2010) ont rapporté l'impact non négligeable de l'air dans la transmission de cadmium, d'arsenic et de plomb et que ce phénomène peu étudié devrait être mieux considéré dans l'analyse du risque pour la santé humaine. Larsen *et al.* (1992) ont rapporté l'accumulation de chrome et d'arsenic dans le

sol et sur des cultures de chou kale, de carotte et de pomme de terre produites entre 250 et 1 500 m d'une industrie de bois traité. Bien que souvent plus élevés que dans les parcelles témoin, les niveaux présents dans les légumes respectaient les critères de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et l'Organisation mondiale de la santé (FAO/WHO). Dans le même ordre d'idée, De Temmerman et Hoenig (2004) ont démontré la bioaccumulation de cadmium et de plomb dans des cultures d'épinard, d'endive et de laitue produites en zones industrielle (présence d'une fonderie) et résidentielle. Les distances ne sont cependant pas mentionnées. À l'instar des études réalisées sur le transport aérien des microorganismes, il est raisonnable de croire que la proximité d'un site où sont manipulées des MRF pourrait accroître les risques de contamination chimique des cultures.

2.2.2.1 Prélèvement des contaminants chimiques par les cultures horticoles

Quelques études ont porté sur le prélèvement par les plantes de métaux potentiellement toxiques pour l'humain. La plupart d'entre elles concernaient l'application de biosolides municipaux. Peralta-Videa *et al.* (2009) ont rapporté l'accumulation de certains éléments dans des cultures, notamment l'arsenic et le cadmium dans le riz, le chrome dans les crucifères, et le plomb dans les racines de maïs. Lavado *et al.* (2007) ont également démontré la présence accrue de certains éléments dans le sol fertilisé avec des biosolides municipaux, mais aucune corrélation n'a été établie avec leur présence dans des cultures de maïs et de blé. Montemurro *et al.* (2010) ont fait le suivi durant quatre ans du zinc, cuivre, nickel, plomb et du cadmium sur des parcelles de dactyle et de luzerne fertilisées annuellement par des biosolides municipaux, du compost ou des engrais minéraux. À terme, aucune différence significative n'a été détectée entre les traitements (dans le sol et sur les cultures) et ce, malgré le fait que le contenu des biosolides en ces éléments dépassait les critères exigés. De façon générale, la littérature disponible rapporte un niveau de risque faible quant au prélèvement de métaux toxiques par les plantes. Dans le même ordre d'idées, Sabourin *et al.* (2012) ont rapporté que le prélèvement de plusieurs micropolluants, incluant des produits pharmaceutiques, des parabènes et des hormones, par des cultures de carotte, pomme de terre et maïs sucré, était négligeable.

3. Facteurs de risque

Suite à la revue de littérature, seulement quelques sources potentielles de contamination, rassemblées en trois principaux sujets, ont été ciblées comme étant des facteurs de risque de contamination des productions horticoles, soit les amas au champ, la gestion de l'irrigation et des fertilisants organiques, ainsi que la présence d'animaux fauniques ou d'élevage. Bien que les risques identifiés soient surtout d'origine biologique, un intérêt particulier doit être porté sur les métaux toxiques pouvant provenir des amas au champ et de certaines industries.

3.1 Amas au champ

Peu d'études ont porté sur la présence et le devenir des contaminants biologiques potentiellement présents dans des amas de fumier ou de MRF au champ. La majorité des études et des recommandations techniques portant sur le sujet concernent les éléments fertilisants. Puisque les microorganismes peuvent emprunter les mêmes voies de transport dans l'environnement, les recommandations pour les éléments fertilisants peuvent servir de base de réflexion quant au risque lié aux amas au champ.

La réglementation québécoise quant à la gestion des amas au champ permet de gérer une partie du risque de contamination environnementale. En effet, tel que stipulé dans le REA, les eaux contaminées

issues de l'amas ne doivent pas atteindre les eaux de surface. Le *Guide de conception des amas de fumier au champ II* (Côté *et al.*, 2009) a rapporté plusieurs facteurs à considérer lors de l'emplacement de l'amas, dont :

1. le type de sol : les sols sableux avec une prédominance de sable moyen à grossier sont plus à risque. Les sols présentant une capacité d'échange cationique élevée (> 15 meq/100 g) permettent une plus grande rétention des éléments.
2. la pente : une pente inférieure à 6 % est recommandée. Les sites légèrement convexes doivent être privilégiés de façon à ce que la base de l'amas ne soit pas ennoyée.

Les études d'Alleoni *et al.* (2008) et Larsen *et al.* (1994) ont également rapporté le risque accru de lessivage des éléments fertilisants vers l'eau souterraine en sols sableux. Les essais d'inoculation de Bales *et al.*, (1995) ont démontré que des bactériophages et des bactéries avaient été transportés sur une distance de 12 et 6 m en sol sableux, respectivement. Pour ce qui est de la gestion des eaux de ruissellement générées par les amas, Côté *et al.* (2009) ont recommandé l'implantation de bandes et d'andains filtrants autour des amas. La valorisation rapide de l'amas permet également d'amoindrir le risque de contamination des eaux souterraines. Le REA oblige d'ailleurs l'épandage d'un amas au champ dans les 12 mois suivant le premier apport de matière le constituant. L'annexe 7 résume finalement les distances séparatrices proposées par plusieurs règlements et directives au Canada et aux États-Unis. Par exemple, les distances recommandées pour la protection des plans d'eau souterraine et de surface varient entre 30 et 300 m, alors qu'une distance variant entre 50 et 800 m est recommandée entre un amas au champ et une propriété voisine. Aucune recommandation ou exigence n'est décrite quant à la distance minimale entre un amas au champ et un champ horticole voisin.

L'emplacement des champs horticoles influence également les risques de contamination. Strawn *et al.*, (2013) rapportent que chaque champ ne présente pas le même risque selon le type de sol et à la topographie. Le climat, particulièrement les précipitations, jouent également un rôle dans le risque de contamination (Dorioz *et al.*, 2011; Thomas *et al.*, 2006).

Selon la littérature consultée, le transport des contaminants chimiques et des microorganismes par voie aérienne ne doit pas être négligé, bien que peu d'études aient porté sur le risque lié aux cultures horticoles. Bien entendu, le risque augmente avec la proximité, et seuls les champs près d'un site où sont manipulés ou entreposés de grands volumes de MRF (Pillai *et al.*, 1996), composts ou fumiers devraient être considérés dans la gestion du risque. Les distances séparatrices à respecter afin que les risques soient minimales ne font cependant pas l'unanimité. D'un point de vue microbiologique, des distances supérieures à 30 m (Dowd *et al.*, 1997), 30,5 m (Brooks *et al.*, 2005), 100 m (Sorber *et al.*, 1994) et 250 m (Hutchison *et al.*, 2008) sont nécessaires. Pour ce qui est des dangers chimiques, la présence d'arsenic et de chrome dans le sol et des légumes cultivés jusqu'à 1 500 m d'une industrie de bois traité a été démontrée sans que les contenus lors de la récolte ne dépassent toutefois les recommandations internationales émises pour la santé humaine (Larsen *et al.*, 1992). Le risque de contamination des cultures lié aux bioaérosols demeure très peu connu et l'étude devrait en être approfondie (Fan *et al.*, 2009).

3.2 Gestion de l'irrigation et des fertilisants organiques

Plusieurs actions peuvent être entreprises à la ferme afin de minimiser les risques de contamination microbiologique et chimique des cultures par l'eau d'irrigation ou l'utilisation d'engrais organiques. En ce qui a trait à l'irrigation, la source d'eau, la méthode d'irrigation et les délais avant récolte sont notamment des facteurs à considérer dans la gestion du risque. De façon générale, les pratiques de conservation des sols et de l'eau ont également un rôle important à jouer avec la contamination des produits au champ. Par exemple, la mise en place de bandes riveraines d'une largeur adéquate, de haies brise-vent et de zones enherbées autour des champs réduirait d'une part les risques de contamination de l'eau de surface utilisée pour l'irrigation (Berry *et al.*, 2007; Godwin et Moore, 1997; Moore *et al.*, 1995), d'autre part les risques liés à la transmission aérienne des microorganismes et contaminants chimiques, et finalement le ruissellement de surface jusqu'au champ horticole.

Le contenu microbiologique de l'eau a un impact sur les risques de contamination des cultures (Olaimat et Holley, 2012). Or, il est reconnu que l'eau souterraine soit généralement de meilleure qualité microbiologique que l'eau de surface (Alsanius *et al.*, 2010). Somarelli *et al.* (2007) ont démontré que dans un bassin versant dominé par des fermes bovines, les *E. coli* retrouvées dans l'eau étaient d'origine faunique, notamment de chevreuils et d'oies. Il ne faudrait pas sous-estimer le rôle de la faune dans la contamination des cours d'eau servant à l'irrigation des cultures horticoles. Par contre, le traitement de l'eau peut être envisagé lorsque les sources d'eau disponibles sont de piètre qualité (Murphy *et al.*, 2010). De plus, l'irrigation par goutte-à-goutte présente moins de risque que par aspersion (Matthews, 2013; Park *et al.*, 2012; Warriner *et al.*, 2009; Solomon *et al.*, 2002). Finalement, un délai élevé entre l'irrigation et la récolte réduit également les risques de contamination des produits lors de la récolte. L'étude Park *et al.* (2013), rapportant les principaux facteurs de risque suite à un sondage sur les pratiques agricoles chez 12 entreprises produisant des épinards, ont établi qu'une période de 5 jours entre l'irrigation et la récolte avait réduit significativement la présence d'*E. coli* générique dans des épinards. Les niveaux de contamination de l'eau d'irrigation pour chacune des entreprises ne sont toutefois pas présentés. Wood *et al.* (2010) ont démontré en laboratoire qu'un délai minimum de 6 jours était nécessaire pour minimiser les risques de contamination des épinards. Des concentrations de 10^4 à 10^7 UFC/ 100 mL d'un mélange de deux types d'*E. coli* avaient été appliquées dans l'eau d'irrigation. Hutchison *et al.*, (2008) ont démontré que les risques de contamination des cultures devraient être pris en considération dans les 3 semaines précédant la récolte et ce, lorsque l'irrigation se fait par aspersion.

L'utilisation de fertilisants organiques jouent également un rôle important dans le risque de contamination des cultures horticoles à proximité, particulièrement en ce qui a trait à la protection des plans d'eau de surface et de l'eau souterraine pouvant servir à l'irrigation. Certaines pratiques permettant de restreindre le ruissellement des éléments fertilisants vers les cours d'eau de surface ou le lessivage vers l'eau souterraine le sont également pour les contaminants biologiques et chimiques, notamment :

- éviter d'épandre lorsque des précipitations sont annoncées (Meals et Braun, 2006);
- incorporer le plus tôt possible suite à l'épandage (Durso *et al.* 2011).

Ainsi, l'implantation de bandes filtrantes, bermes, zones tampons végétalisées et autres mesures de protection autour des champs en cultures maraîchères réduirait les risques liés au ruissellement de surface (Krause et Hendrick, 2011; Lewis *et al.*, 2009; Spieh et Goyal, 2007). Le *Guide de référence en fertilisation -2^e édition*, du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, rassemble

l'information pertinente quant aux bonnes pratiques liées à la gestion de l'azote, du phosphore, des éléments trace métalliques et des microorganismes (CRAAQ, 2010).

Durso *et al.* (2011) ont rapporté que, pour une même source d'engrais organique, le taux d'application avait un impact directement proportionnel sur les concentrations de bactéries entériques dans le sol suite à l'épandage. Ces mêmes auteurs ont également démontré que la diète des bovins et le labour n'avaient pas eu d'impact sur le ruissellement des coliformes fécaux suite à une pluie simulée par irrigation. Le transport des bactériophages avait cependant été plus important, mais non statistiquement significatif, dans les parcelles non labourées où le fumier épandu provenait de bovins dont la diète était essentiellement constituée de maïs.

L'assainissement des fumiers et lisiers par digestion aérobie ou anaérobie, entreposage prolongé, séchage et compostage peut s'avérer efficace, quoique coûteux dans bien des cas, pour abattre les populations microbiennes (CRAAQ, 2010). Par exemple, l'entreposage de lisier de porc dans une fosse de transfert sans entrée de lisier frais durant un mois au printemps permettrait de réduire d'environ 90 % les populations de microorganismes indicateurs et pathogènes (Côté *et al.*, 2006). Malgré le fait que les lisiers traités par digestion anaérobie contiennent moins de coliformes fécaux et *E. coli* que les lisiers non traités, leur taux de survie dans le sol n'en est pas affecté (Saunders *et al.*, 2012). Bien que le compostage soit reconnu comme étant une méthode permettant d'abattre les populations microbiennes, plusieurs études ont démontré une survie importante des microorganismes pathogènes pour l'humain, ainsi qu'une recroissance de ceux-ci au cours du processus lorsque les conditions de compostage ne sont pas adéquates. La contamination microbiologique de cultures horticoles suite à l'application de compost a été démontrée dans plusieurs publications scientifiques (Islam *et al.*, 2005; Islam *et al.*, 2004a, 2004b, 2004c; Solomon *et al.*, 2002). Par contre, Panel *et al.* (2009) ont démontré un abattement important des populations de *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* Infantis et *Enterococcus faecalis* dans plusieurs types de composts au cours du compostage, suite à la phase thermophile du processus. Les auteurs ont d'ailleurs soulevé le rôle de la flore microbienne indigène dans cet abattement et recommandent l'utilisation de composts matures et stabilisés pour l'épandage en milieu agricole. Bien que le but premier des amas au champ ne devrait pas être le compostage, ce phénomène survient lors de la phase de maturation du produit en amas (Côté *et al.*, 2009). Durant la maturation, la charge microbienne diminue d'un facteur de 5000 pour les streptocoques fécaux (Côté *et al.*, 2009). Par contre, la hausse de température n'est pas constante et homogène dans tout l'amas entreposé et ne devrait pas servir à assainir le produit d'un point de vue microbiologique. McAllister et Topp (2012) ont également précisé que le compostage réduisait les populations de microorganismes pathogènes sans toutefois les éliminer.

Si l'assainissement des fertilisants n'est pas envisageable, le moment d'application devient crucial. L'épandage du lisier à l'automne représente une pratique sécuritaire dans l'optique où les bactéries et les parasites survivent mal aux cycles répétés de gel et de dégel des hivers québécois. Dans les cas où les lisiers sont épandus l'année de la récolte, des précautions supplémentaires doivent cependant être prises, particulièrement en ce qui a trait au délai entre l'application et la récolte. Jensen *et al.* (2013) ont rapporté une prévalence d'*E. coli* de 36, 45 et 54 % sur des laitues cultivées dans des champs où avaient été épandus des lisiers 57, 129 et 33 jours avant la récolte, respectivement. Pour le Québec, l'étude de Côté et Quessy (2005) a indiqué qu'un délai de 100 jours entre l'épandage et la récolte réduisait considérablement le risque de contamination microbienne des légumes. Dans cette optique, le respect d'un délai de 120 jours entre l'épandage et la récolte, tel que proposé par le programme CanadaGAP, serait suffisant pour réduire au minimum le risque acceptable de microorganismes sur les cultures. L'étude de Park *et al.* (2013) a par contre révélé qu'un délai supérieur à 200 jours s'avérait nécessaire

pour réduire le risque au minimum. L'épandage de lisier frais (ex. la pré-fosse) dans une culture dont la saison de croissance est courte et destinée à la consommation humaine ou dans un pâturage n'était pas jugé sécuritaire pour la salubrité des aliments (Côté et Quessy, 2005; Snowdon *et al.*, 1989a).

Dans un contexte de changements climatiques, notons finalement le risque accru de contamination des cultures horticoles suite à des inondations. Ces événements tendent à devenir plus fréquents et pourraient constituer une source considérable de contaminants tant chimiques que biologiques dans les sols agricoles. Puisque l'inondation fait partie intégrante de la culture du riz, quelques études ont porté sur les risques de contamination chimique pour cette production (Talukder *et al.*, 2011; Pillai *et al.*, 2010). Plusieurs auteurs ont par contre rapporté que les risques pour la santé humaine liés aux inondations tendaient à s'accroître dans les prochaines années, puisque celles-ci accentuaient l'apport et le transport des contaminants dans les champs agricoles (Thomson et Rose, 2011; Bennet et McMichael, 2010; Boxall *et al.*, 2009). Par exemple, le passage des ouragans Dennis, Floyd et Irene en Caroline du Nord en 1999 a laissé des concentrations significativement plus élevées de spores de *Clostridium perfringens* (associée à des matières fécales humaines) dans les sols agricoles à l'étude et ce, comparativement à des échantillons prélevés avant les ouragans (Casteel *et al.*, 2006). La présence de cette bactérie peut être indicatrice de la présence d'autres microorganismes pathogènes pour l'humain.

3.3 Animaux d'élevage et sauvages

Le rôle des animaux d'élevage et de la faune dans la contamination potentielle de cultures horticoles fait quasi l'unanimité dans la littérature. Plusieurs auteurs s'entendent sur le fait que l'accès de ceux-ci aux champs doit être restreint (Langholz et Jay-Russell, 2013; Harris *et al.*, 2012; Fan *et al.*, 2009). Bien que l'accès aux gros mammifères tels que les bovins et les chevreuils puisse être limité par la mise en place de clôtures, le problème demeure entier pour les petits animaux et les oiseaux. Hébert (2005) rapporte également la probabilité que des animaux, notamment des mouches, rongeurs et goélands, puissent être attirés par les odeurs issues des sites d'épandage de MRF et qu'ils deviennent des vecteurs d'agents pathogènes après s'y être souillés. Peu d'études ont porté sur des solutions envisageables quant à cette problématique. D'ailleurs, l'étude de Parker *et al.* (2012), au cours de laquelle des producteurs ont été sondés, rapporte que la gestion de la faune ne représentait pas un moyen de prévention important, notamment en raison de la faible efficacité des mesures de prévention existantes.

Même en restreignant l'accès aux animaux aux champs horticoles, la proximité de pâturages représente tout de même un facteur de risque pouvant devenir important si des mesures ne sont pas prises. À l'instar de ce qui a été mentionné quant à la gestion des fertilisants organiques, la mise en place de mesures de protection des cours d'eau et entre les champs réduirait considérablement les risques liés au ruissellement de surface entre un pâturage et l'environnement adjacent (Ferguson *et al.*, 2007; Sullivan *et al.*, 2007). Sullivan *et al.* (2007) ont d'ailleurs indiqué que le transport des microorganismes suite à des précipitations a pu s'effectuer sur une distance de 25 m et ce, pour des pentes de 3,8 et 7 %. Par contre, Beretti et Stuart (2008) ont soulevé le point que l'implantation de mesures de protection des cours d'eau menait également à l'augmentation de l'activité faunique autour des champs. En effet, des habitats intéressants pour les animaux sont ainsi créés aux environs des champs horticoles, augmentant par le fait même les risques de contamination biologique.

3.3.1. Études de cas

Deux épisodes d'infection à *E. coli* O157:H7 aux États-Unis ont été liés à la présence d'animaux domestiques ou fauniques à proximité des champs horticoles et qui ont causé la maladie chez l'homme suite à la consommation de fruits ou de légumes.

Le premier cas s'est déroulé en 2006, où 205 cas d'infection liés à *E. coli* O157:H7 ont été identifiés suite à la consommation d'épinards (Parker *et al.*, 2011; Wendel *et al.*, 2009; Grant *et al.*, 2008; Jay *et al.*, 2007). L'épisode a touché 26 états américains ainsi que le Canada, et a causé la mort de 3 personnes. Après avoir été emballés au sein d'une compagnie distributrice de plusieurs légumes feuilles, les produits cultivés dans quatre entreprises californiennes avaient été distribués dans des chaînes de restauration rapide dans plusieurs états. Il aura fallu moins de deux semaines aux autorités pour faire le lien entre les cas d'infection et les épinards cultivés dans une des quatre entreprises fournisseuse de légumes. Cette entreprise faisait également l'élevage d'environ 2000 bovins. Les mêmes profils génétiques d'*E. coli* O157:H7 issus des épinards ont été trouvés dans le fumier des bovins et l'eau de surface sur la ferme, mais également chez des sangliers sauvages dont des traces et des excréments ont été retrouvés dans le champ d'épinards. L'eau d'irrigation utilisée provenait de puits, mais il est possible que ceux-ci aient été contaminés par des matières fécales bovines, si bien que la source précise de contamination n'a finalement pas été déterminée. Les coûts de la campagne de rappel des produits ont été estimés à 129 M\$, alors que les pertes pour l'industrie américaine ont été chiffrées à environ 350 M\$ et ce, sans compter les pertes pour les producteurs étrangers dont les ventes ont également baissé durant cette période.

Le second cas s'est déroulé en Oregon en 2011, alors que des cas d'infection à *E. coli* O157:H7 ont été liés à la consommation de fraises (Goetz, 2011; Stone, 2011). Au moins 15 personnes ont été atteintes, dont 2 qui ont présenté le syndrome hémolytique urémique, une infection spécifique à la bactérie. Une personne est décédée. Les premières études épidémiologiques ont révélé que toutes les personnes infectées avaient mangé des fraises achetées dans des kiosques ou marchés publics dans la semaine précédente. Les études suivantes ont permis de faire le lien avec une entreprise qui avait distribué ses produits à plusieurs endroits, et où des matières fécales de chevreuil ont été retrouvées dans le champ de fraises. Les analyses génétiques ont fait le lien entre les bactéries causant les infections et celles retrouvées dans les matières fécales de chevreuil. La bactérie n'a cependant pas été détectée dans les fraises elles-mêmes.

4. Conclusions

L'activité humaine et animale autour des champs horticoles présente un risque potentiel de contamination des cultures. Ce risque peut cependant être géré de façon à amoindrir significativement les cas de contamination. Suite à la recension de la littérature, la proximité d'amas de biosolides, composts ou fumiers et d'une culture horticole peut présenter un risque, soit par contamination directe via les eaux de ruissellement, ou via l'eau d'irrigation qui aurait été contaminée via le lessivage sous l'amas. Le risque lié aux bioaérosols demeure présent et ne peut être géré qu'en augmentant la distance ou en établissant, par exemple, des haies brise vent.

L'épandage de fertilisants organiques dans les champs adjacents aux cultures horticoles doit également être pris en considération, particulièrement en ce qui a trait au ruissellement de surface. Ainsi, l'établissement de mesures de protection autour des champs, telles que des zones tampons végétalisées ou des bandes filtrantes, amoindrirait les risques de contamination des cultures. La mise en place de ces

mesures autour des champs où sont épandus les fertilisants organiques permettrait également de protéger les cours d'eau de surface pouvant servir à l'irrigation des cultures horticoles à proximité. Enfin, l'accès aux champs horticoles par les animaux sauvages doit être restreint. La mise en place de clôtures pourrait pallier à une partie du problème, notamment pour les gros mammifères, sans toutefois le régler complètement. Des zones tampons non cultivées, mais entretenues autour des champs pourraient restreindre l'entrée des petits mammifères dans les zones cultivées en fruits et légumes.

L'évaluation du risque lié à l'eau d'irrigation demeure incomplète en raison du manque de données sur le sujet. Une attention particulière devrait porter sur la présence de pesticides et de leurs produits de dégradation, d'algues bleu-vert et de leurs toxines, d'antibiotiques et de leurs résidus, ainsi que de produits pharmaceutiques et d'hygiène personnelle dans les cours d'eau et de leurs impacts potentiels sur la santé humaine.

En résumé, les champs horticoles présentant les caractéristiques suivantes sont donc les plus à risque de contamination :

A. Risque biologique ou chimique lié au ruissellement de surface ou à l'infiltration :

- proximité d'un amas au champ de fumier, compost ou MRF
- sols sableux (infiltration)
- pente supérieure à 6 %
- proximité d'un pâturage ou d'un champ fertilisé avec des engrais organiques
- pas de zone tampon entre les champs
- application de pesticides dans un champ adjacent où a eu lieu un épandage de biosolides
- champs inondés au cours de la saison de culture

B. Risque biologique ou chimique lié aux aérosols :

- zone d'épandage de lisier de porc à moins de 250 m
- proximité d'installations produisant ou entreposant ou manipulant des biosolides
- proximité d'industries
- proximité d'un élevage avicole

C. Risque biologique lié à l'irrigation :

- utilisation d'eau de surface
- irrigation par aspersion
- eau d'irrigation non traitée
- délai insuffisant entre l'irrigation et la récolte
- populations importantes d'animaux sauvages dans le bassin versant

D. Risque biologique lié à la faune

- accès non restreint aux champs horticoles

5. Références

ACIA, 2011. Exigences en matière d'importation visant les légumes verts feuillus provenant des États-Unis et de la Californie, [en ligne], page consultée le 16 juillet 2013, <http://www.inspection.gc.ca/aliments/fruits-et-legumes-frais/importations-et-commerce-interprovincial/legumes-verts-feuillus-californie/fra/1362372169428/1362372248701>.

Alleoni L.R.F., S.R. Brinton et G.A. O'Connor, 2008. Runoff and leachate losses of phosphorus in a sandy spodosol amended with biosolids. *Journal of Environmental Quality*, 37(1): 259-265.

Alsanius B.W., A.K. Gustafsson et M. Hultberg 2010. Microbiological aspects on irrigation water quality to field grown vegetables. ISHS Acta Horticulturae 852: IV International Symposium on Ecologically Sound Fertilization Strategies for Field Vegetable Production, 53-60.

Avery L.M., A.P. Williams, K. Killham et D.L. Jones, 2008. Survival of *Escherichia coli* O157:H7 in waters from lakes, rivers, puddles and animal-drinking troughs. *Science of the Total Environment*, 389(2-3): 378-385.

Avery L.M., K. Killham et D.L. Jones, 2005. Survival of *E. coli* O157:H7 in organic wastes destined for land application. *Journal of Applied Microbiology*, 98(4): 814-822.

Barriuso E., S. Houot et C. Serra-Wittling, 1996. Influence of compost addition to soil on the behaviour of herbicides. *Pesticide Science*, 49(1): 65-75.

Bennet C.M. et A.J. McMichael, 2010. Non-heat related impacts of climate change on working populations. *Global Health Action* 3: 5640 – DOI: 10.3402/gha.v3i0.5640.

Beretti M. et D. Stuart, 2008. Food safety and environmental quality impose conflicting demands on Central Coast growers. *California Agriculture*, 62(2): 68-73.

Berry E.D., B.L. Woodbury, J.A. Nienaber, R.A. Eigenberg, J.A. Thurston et J.E. Wells, 2007. Incidence and persistence of zoonotic bacterial and protozoan pathogens in a beef cattle feedlot runoff control - vegetative treatment system. *Journal of Environmental Quality*, 36(6): 1873-1882.

Bezanson G., P. Delaquis, S. Bach, R. McKellar, E. Topp, A. Gill, B. Blais et M. Gilmour, 2012. Comparative examination of *Escherichia coli* O157:H7 survival on romaine lettuce and in soil at two independent experimental sites. *Journal of Food Protection*, 75(3): 480-487.

Blackwell P.A., P. Kay et A.B.A. Boxall, 2007. The dissipation and transport of veterinary antibiotics in a sandy loam soil. *Chemosphere*, 67(2): 292-299.

Boxall A.B.A, A. Hardy, S. Beulke, T. Boucard, L. Burgin, P.D. Falloon, P.M. Haygarth, T. Hutchinson, R.S. Kovats, G. Leonardi, L.S. Levy, G. Nichols, S.A. Parsons, L. Potts, D. Stone, E. Topp, D.B. Turley, K. Walsh, E.M.H. Wellington et R.J. Williams, 2009. Impacts of climate change on indirect human exposure to pathogens and chemicals from agriculture. *Environmental Health Perspectives*, 117(4): 508-514.

Brandl M.T. et R. Amundson, 2008. Leaf age as a risk factor in contamination of lettuce with *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica*. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(8): 2298-2306.

Brooks J.P., B.D. Tanner, C.P. Gerba, C.N. Haas et I.L. Pepper, 2005. Estimation of bioaerosol risk of infection to residents adjacent to a land applied biosolids site using an empirically derived transport model. *Journal of Applied Microbiology*, 98(2): 397-405.

Casteel M.J., M.D. Sobsey et J.P. Mueller, 2006. Fecal contamination of agricultural soils before and after hurricane-associated flooding in North Carolina. *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 41: 173-184.

CCME, 2010. Un examen de l'actuel cadre législatif des biosolides municipaux au Québec. Conseil canadien des ministres de l'environnement, ISBN 978-1-896997-96-4, 72 p.

CCME, 2005. Lignes directrices pour la qualité du compost. Conseil canadien des ministres de l'environnement, ISBN 1-896997-62-7, 24 p.

Chaidez C., M. Soto, P. Gortares et K. Mena, 2005. Occurrence of *Cryptosporidium* and *Giardia* in irrigation water and its impact on fresh produce industry. *International Journal of Environmental Health Research*, 15(5): 339-345.

Chee-Sandford J.C., R.I. Mackie, S. Koike, I.G. Krapac, Y.-F. Lin, A.C. Yannarell, S. Maxwell et R.I. Aminov, 2009. Fate and transport of antibiotic residues and antibiotic resistance genes following land application of manure waste. *Journal of Environmental Quality*, 38(3): 1086-1108.

Clément M., R. Seux et L. Orhon, 2000. Influence de la distance sur le transfert par ruissellement de quelques substances phytosanitaires. *Journal of Water Science*, 13(1): 55-73.

Côté, D., M.-O. Gasser et D. Poulin, 2009. Guide de conception des amas de fumier au champ II. IRDA, 48 p. + annexes.

Côté C., D.I. Massé et S. Quessy, 2006. Reduction of indicator and pathogenic microorganisms by psychrophilic anaerobic digestion in swine slurries. *Bioresource Technology*, 97: 686-691.

Côté C. et S. Quessy, 2005. Persistence of *E. coli* and *Salmonella* in surface soil following application of liquid hog manure for production of pickling cucumbers. *Journal of Food Protection*, 68(5): 900-905.

CRAAQ, 2010. Guide de référence en fertilisation – 2^e édition. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, ISBN 978-2-7649-0231-8, 474 p.

De Temmerman L. et M. Hoenig, 2004. Vegetable crops for biomonitoring lead and cadmium deposition. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 49(1-3): 121-135.

Dolliver H.A. et S.C. Gupta, 2008. Antibiotic losses from unprotected manure stockpiles. *Journal of Environmental Quality*, 37(3): 1238-1244.

Dolliver H., S. Gupta et S. Noll, 2008. Antibiotic degradation during manure composting. *Journal of Environmental Quality*, 37(3): 1245-1253.

Dorioz J.-M., Ph. Quetin, C. Prigent-Combaret et D. Trévisan, 2011. Rôle des facteurs édaphiques et hydrométéorologiques dans la survie et le transfert de bactéries fécales bovines, à l'échelle bassin versant : cas de pâturages d'altitude. *Étude et Gestion des Sols*, 18(3): 217-236.

Douglas Inglis G., T.A. McAllister, F.J. Larney et E. Topp, 2010. Prolonged survival of *Campylobacter* species in bovine manure compost. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(4): 1110-1119.

Dowd S.E., K.W. Widmer et S.D. Pillai, 1997. Thermotolerant *Clostridia* as an airborne pathogen indicator during land application of biosolids. *Journal of Environmental Quality*, 26(1): 194-199.

Dowe M.J., E.D. Jackson, J.G. Mori et C.R. Bell, 1997. *Listeria monocytogenes* survival in soil and incidence in agricultural soils. *Journal of Food Protection*, 60(10): 1201-1207.

Durso L.M., J.E. Gilley, D.B. Marx et B.L. Woodbury, 2011. Effects of animal diet, manure application rate, and tillage on transport of microorganisms from manure-amended fields. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(18): 6715-6717.

Erickson M.C., C.C. Webb, J.C. Diaz-Perez, S.C. Phatak, J.J. Silvoy, L. Davey, A.S. Payton, J. Liao, L. Ma et M.P. Doyle, 2010. Surface and internalized *Escherichia coli* O157:H7 on field-grown spinach and lettuce treated with spray-contaminated irrigation water. *Journal of Food Protection*, 73(6): 1023-1029.

Fan X., B.A. Niemira, C.J. Doona, F.E. Feeherry et R.B. Gravani, 2009. Microbial safety of fresh produce. IFT Press Wiley-Blackwell, 464 p.

Fédération de l'UPA de Lanaudière, 2008a. Potentiel d'utilisation des eaux de surface pour l'irrigation des productions horticoles dans les MRC de Montcalm et Les Moulins (région de Lanaudière). Rapport final présenté au Programme d'approvisionnement en eau Canada-Québec du Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec. Projet no 5095, 104 p.

Fédération de l'UPA de Lanaudière, 2008b. Acquisition de connaissances sur l'hydrologie, l'approvisionnement en eau et les écosystèmes de la rivière Saint-Jean – Lanaudière. Rapport final présenté au Programme d'approvisionnement en eau Canada-Québec du Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec. Projet no 5219, 271 p.

Fédération de l'UPA de St-Hyacinthe, 2008. Étude sur la qualité de l'eau des étangs de ferme et des cours d'eau utilisés pour fins d'irrigation dans la zone de production maraîchère des MRC Les Maskoutains, Rouville, Brome-Missisquoi - Montérégie Est. Rapport final présenté au Programme d'approvisionnement en eau Canada-Québec du Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec. Projet no 5261, 108 p.

Ferguson, C.M., C.M. Davies, C. Kaucner, M. Krogh, J. Rodehutsors, D.A. Deere et N.J. Ashbolt, 2007. Field scale quantification of microbial transport from bovine faeces under simulated rainfall events. *Journal of Water and Health*, 5(1): 83-96.

Fong T-T. et E.K. Lipp, 2005. Enteric viruses of humans and animals in aquatic environments: health risks, detection, and potential water quality assessment tools. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 69(2): 357-371.

Fonseca J.M., S.D. Fallon, C.A. Sanchez et K.D. Nolte, 2011. *Escherichia coli* survival in lettuce fields following its introduction through different irrigation systems. *Journal of Applied Microbiology*, 110(4): 893-902.

Gelting R.J., M.A. Baloch, M.A. Zarate-Bermudez et C. Selman, 2011. Irrigation water issues potentially related to the 2006 multistate *E. coli* O157:H7 outbreak associated with spinach. *Agricultural Water Management*, 98(9): 1395-1402.

Gerba. C.P. et J.E. Smith, 2005. Sources of pathogenic microorganisms and their fate during land application of wastes. *Journal of Environmental Quality*, 34(1): 42-48.

Godwin D. et J.A. Moore, 1996. Manure management in small farm livestock operations, protecting surface and groundwater. Oregon State University Extension Service, 8 p.

Goetz G., 2011. Did deer cause Oregon's strawberry outbreak? *Food Safety News: breaking news for every one's consumption*, [en ligne], page consultée le 15 juillet 2013. Disponible au <http://www.foodsafetynews.com/2011/08/epis-pinpoint-strawberries-in-or-e-coli-outbreak/>.

Graber E.R., I. Dror, F.C. Bercovich et M. Rosner, 2001. Enhanced transport of pesticides in a field trial with treated sewage sludge. *Chemosphere*, 44(4): 805-811.

Guan T.Y. et R.A. Holley, 2003. Pathogen survival in swine manure environments and transmission of human enteric illness – a review. *Journal of Environmental Quality*, 32(2): 383-392.

Guo X., J. Chen, R.E. Brackett et L.R. Beuchat, 2002. Survival of *Salmonella* on tomatoes stored at high relative humidity, in soil, and on tomatoes in contact with soil. *Journal of Food Protection*, 65(2): 274-279.

Guzmán C., J. Jofre, M. Montemayor et F. Lucena, 2007. Occurrence and levels of indicators and selected pathogens in different sludges and biosolids. *Journal of Applied Microbiology*, 103(6): 2420-2429.

Harris, L.J., J. Bender, E.A. Bihn, T. Blessington, M.D. Danyluk, P. Delaquis, L. Goodridge, A.M. Ibekwe, S. Ilic, K. Kniel, J.T. LeJeune, D.W. Schaffner, D. Stoeckel et T.V. Suslow, 2012. A framework for developing research protocols for evaluation of microbial hazards and controls during production that pertain to the quality of agricultural water contacting fresh produce that may be consumed raw. *Journal of Food Protection*, 75(12): 2251-2273.

Hébert, M., 2005. Pathogènes dans les biosolides municipaux et autres MRF : normes et critères de bonnes pratiques. *Agrosol*, 16(2): 105-122.

Heaton J.C et K. Jones, 2008. Microbial contamination of fruit and vegetables and the behaviour of enteropathogens in the phyllosphere: a review. *Journal of Applied Microbiology*, 104(3): 613-26.

Heuer H., H. Schmitt et K. Smalla, 2011. Antibiotic resistance gene spread due to manure application on agricultural fields. *Current Opinion in Microbiology*, 14(3): 236-243.

Huang C.-H., J.E. Renew, K.L. Smeby, K. Pinkston et D.L. Sedlak, 2001. Assessment of potential antibiotic contaminants in water and preliminary occurrence analysis. *Journal of Contemporary Water Research and Education*, 120(1): 30-40.

Hsu J.-H. et S.-L. Lo, 2001. Effect of composting on characterization and leaching of copper, manganese, and zinc from swine manure. *Environmental Pollution*, 114(1): 119-127.

Hutchinson M.L., S.M. Avery et J.M. Monaghan, 2008. The air-borne distribution of zoonotic agents from livestock waste spreading and microbiological risk to fresh produce from contaminated irrigation sources. *Journal of Applied Microbiology*, 105(3): 848-857.

Ibekwe A.M., P.J. Shouse et C.M. Grieve, 2006. Quantification of survival of *Escherichia coli* O157:H7 on plants affected by contaminated irrigation water. *Engineering in Life Sciences*, 6(6): 566-572.

Iranpour R., H.H.J. Cox, R.J. Kearney, J.H. Clark, A.B. Pincince et G.T. Daigger, 2004. Regulations for biosolids land application in U.S. and European Union. *Journal of Residuals Science & Technology*, 1(4): 209-222.

Islam M., M.P. Doyle, S.C. Phatak, P. Millner et X. Jiang, 2005. Survival of *Escherichia coli* O157:H7 in soil and on carrots and onions grown in fields treated with contaminated manure composts or irrigation water. *Food Microbiology*, 22(1): 63-70.

Islam M., M.P. Doyle, S.C. Phatak, P. Millner et X. Jiang, 2004. Persistence of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in soil and on leaf lettuce and parsley grown in fields treated with contaminated manure composts or irrigation water. *Journal of Food Protection*, 67(7): 1365-1370.

Islam M., J. Morgan, M.P. Doyle, S.C. Phatak, P. Millner et X. Jiang, 2004. Fate of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium on carrots and radishes grown in fields treated with contaminated manure composts or irrigation water. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(4): 2497-2502.

Islam M., J. Morgan, M.P. Doyle, S.C. Phatak, P. Millner et X. Jiang, 2004. Persistence of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium on lettuce and parsley treated with soils on which they were grown in field treated with contaminated manure composts or irrigation water. *Foodborne pathogens and Disease*, 1(1): 27-35.

Jacobsen C.S. et T.B. Bech, 2012. Soil survival of *Salmonella* and transfer to freshwater and fresh produce. *Food Research International*, 45(2): 557-566.

Jamieson R.C., R.J. Gordon, K.E. Sharples, G.W. Stratton et A. Madani, 2002. Movement and persistence of fecal bacteria in agricultural soils and subsurface drainage water: a review. *Canadian Biosystems Engineering*, 44: 1.1-1.9.

Jay M.T., M. Cooley, D. Carychao, G.W. Wisconb, R.A. Sweitzer, L. Crawford-Miksza, J.A. Farrar, D.K. Lau, J. O'Connell, A. Millington, R.V. Asmindson, E.R. Atwill et E. Mandrell, 2007. *Escherichia coli* O157:H7 in fecal swine near spinach fields and cattle, Central California Coast. *Emerging Infectious Diseases*, 13(12): 1908-1911.

Jensen A.N., C. Storm, A. Forslund, D.L. Baggesen et A. Dalsgaard, 2013. *Escherichia coli* contamination of lettuce grown in soils amended with animal slurry. *Journal of Food Protection*, 76(7): 1137-44.

Jiang X., M. Islam, J. Morgan et M.P. Doyle, 2004. Fate of *Listeria monocytogenes* in bovine manure-amended soil. *Journal of Food Protection*, 67(8): 1676-1681.

Jones P. et M. Martin, 2003. A review of the literature on the occurrence and survival of pathogens of animals and humans in green compost. The Waste and Resources Action Programme, 33 p.

Kang X., A. Bhandari, K. Das et G. Pillar, 2005. Occurrence and fate of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in biosolids. *Journal of Environmental Quality*, 34(1): 91-104.

Knox K., K.W. Tate, R.A. Dahlgren et E.R. Atwill, 2007. Management reduces *E. coli* in irrigated pasture runoff. *California Agriculture*, 61(4): 159-165.

Krause O.D. et S. Hendrick, 2011. Zoonotic pathogens in the food chain. CABI Publishing, 242 p.

Lang N.L. et S.R. Smith, 2007. Influence of soil type, moisture content and biosolids application on the fate of *Escherichia coli* in agricultural soil under controlled laboratory conditions. *Journal of Applied Microbiology*, 103(6): 2122-2131.

Larsen R.E., J.R. Miner, J.C. Buckhouse et J.A. Moore, 1994. Water quality benefits of having cattle manure deposited away from streams. *Bioresource Technology*, 48(2): 113-118.

Larsen E.H., L. Moseholm et M.M. Nielsen, 1992. Atmospheric deposition of trace elements around point sources and human health risk assessment. II: Uptake of arsenic and chromium by vegetables grown near a wood preservation factory. *The Science of Total Environment*, 126(3): 263-75.

Lavado R.S., M. Rodríguez, R. Alvarez, M.A. Taboada et M.S. Zubillaga, 2007. Transfer of potentially toxic elements from biosolid-treated soils to maize and wheat crops. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 118(1-4): 312-318.

Legind C.N. et S. Trapp, 2010. Comparison of prediction methods for the uptake of As, Cd, and Pb in carrot and lettuce. *SAR and QSAR in Environmental Research*, 21(5-6): 513-525.

Lewis D.J., E.R. Atwill, M.S. Lennox, M.D.G. Pereira, W.A. Miller, P.A. Conrad et K.W. Tate, 2009. Reducing microbial contamination in storm runoff from high use areas on California coastal dairies. *Water Science & Technology*, 60(7): 1731-1743.

Lu Q., Z.L. He et P.J. Stoffella, 2012. Land application of biosolids in the USA: a review. *Applied and Environmental Soil Science*, 2012: 1-11.

Makni H., H. Grissa, M. Ben Khedher et A. Bakhrouf, 2009. Survie des pathogènes au cours du compostage des déchets organiques. *Microbiologie et Hygiène Alimentaire*, 21(61): 31-35.

Matthews K.R., 2013. Sources of enteric pathogen contamination of fruits and vegetables: future directions of research. *Stewart Postharvest Review*, 1(2): 1-5.

McAllister T.A. et E. Topp, 2012. Role of livestock in microbiological contamination of water: Commonly the blame, but not always the source. *Animal Frontiers*, 2(2): 17-27.

MDDEP, 2012a. Guide sur le recyclage des matières résiduelles fertilisantes – Critères de référence et normes réglementaires. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN 978-2-550-64355-5, 170 p.

MDDEP, 2012b. Portrait de la qualité des eaux de surface au Québec 1999-2008. Québec, direction du Suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-63649-6, 97 p.

MDDEP, 2012c. Présence de pesticides dans l'eau au Québec – Bilan dans quatre cours d'eau de zones en culture de maïs et de soya en 2008, 2009 et 2010. Québec, direction du Suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-64159-9, 86 p.

MDDEP, 2010. Pesticides dans l'eau de surface d'une zone maraîchère – Ruisseau Gibeault-Delisle dans les « terres noires » du bassin versant de la rivière Châteauguay de 2005 à 2007. Québec, direction du Suivi de l'état de l'environnement et Université Laval, Département des sols et de génie agroalimentaire, ISBN 978-2-550-59088-0, 36 p.

Meals D.W. et D. C. Braun, 2006. Demonstration of methods to reduce *E. coli* runoff from dairy manure application sites. *Journal of Environmental Quality*, 35(4): 1088-1100.

Montemurro F., M. Charfeddine, M. Maiorana et G. Convertini, 2010. Compost use in agriculture: the fate of heavy metals in soil and fodder crop plants. *Compost Science & Utilization*, 18(1): 47-54.

Moore P.A., T.C. Daniel, A.N. Sharpley et C.W. Wood, 1995. Poultry manure management: environmentally sound options. *Journal of Soil and Water Conservation*, 50(3): 321-327.

Mootian G., W.-H. Wu et K.R. Matthews, 2009. Transfer of *Escherichia coli* O157:H7 from soil, water, and manure contaminated with low numbers of the pathogen to lettuce plants. *Journal of Food Protection*, 72(11): 2308-2312.

Murphy M., R. Jamieson, R. Gordon, G.W. Stratton et A. Madani, 2010. Inactivation of *Escherichia coli* during storage of irrigation water in agricultural reservoirs. *Canadian Water Resources Journal*, 35(1): 69-78.

Olaïmat A.N. et R.A. Holley, 2012. Factors influencing the microbial safety of fresh produce: a review. *Food Microbiology*, 32(1): 1-19.

Olson M.E., 2001. Human and animal pathogens on manure. *Microbiology and Infectious Diseases*, University of Calgary, 12 p.

Paniel N., S. Rousseaux, P. Gourland, M. Poitrenaud et J. Guzzo, 2010. Assessment of survival of *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* *Infantis* and *Enterococcus faecalis* artificially inoculated into experimental waste or compost. *Journal of Applied Microbiology*, 108(5): 1797-1809.

Park S., S. Navratil, A. Gregory, A. Bauer, I. Srinath, M. Jun, B. Szonyi, K. Nightingale, J. Anciso, R. Ivanek, 2013. Generic *Escherichia coli* contamination of spinach at the preharvest stage: effects of farm management and environmental factors. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(14): 4347-4358.

Park S., B. Szonyi, R. Gautam, K. Nightingale, J. Anciso et R. Ivanek, 2012. Risk factors for microbial contamination in fruits and vegetables at the preharvest level: a systematic review. *Journal of Food Protection*, 75(11): 2055-2081.

Parker J.S., R.S. Wilson, J.T. LeJeune et D. Doohan, 2012. Including growers in the “food safety” conservation: enhancing the design and implementation of food safety programming based on farm and marketing needs of fresh fruit and vegetable producers. *Agriculture and Human Values*, 29(3): 303-316.

Parker C.T., J.L. Kyle, S. Huynh, M.Q. Carter, M.T. Brandl et R.E. Mandrell, 2011. *Escherichia coli* O157:H7 isolates related to the 2006 spinach-associated outbreak exhibit distinct transcriptional profiles and phenotypes. *Applied and Environmental Microbiology*, 77: 1-31.

Patni N.K., H.R. Toxopeus et P.Y. Jui, 2005. Bacterial quality of runoff from manured and non-manured cropland. *Transactions of the ASAE*, 28(6): 1871-1878.

Peralta-Videa J.R., M.L. Lopez, M. Narayan, G. Saupe et J. Gradea-Torresdey, 2009. The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: Implications for the food chain. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 41(8-9): 1665-1677.

Pianetti A., L. Sabatini, G. Cecchetti et F. Bruscolini, 2006. Microbiology of surface water used for crop irrigation: faecal contamination indicators, *Salmonella*, *Vibrio* and *Aeromonas*. *L'Igiene Moderna*, 25(1): 1-18.

Pillai T.R., W. Yan, H.A. Agrama, W.D. James, A.M.H. Ibrahim, A.M. McClung, T.J. Gentry et R.H. Loeppert, 2010. Total grain-arsenic and arsenic-species concentrations in diverse rice cultivars under flooded conditions. *Crop Science*, 50(5): 2065-2075.

Pillai S.D. et S.C. Ricke, 2002. Bioaerosols from municipal and animal wastes: background and contemporary issues. *Canadian Journal of Microbiology*, 48(8): 681-696.

Pillai S.D., K.W. Widmer, S.E. Dowd et S.C. Ricke, 1996. Occurrence of airborne bacteria and pathogen indicators during land application of sewage sludge. *Applied and Environmental Microbiology*, 62(1): 296-299.

Ravva S.V., C.Z. Sarreal et R.E. Mandrell, 2011. Bacterial communities on aerosols and manure samples from two different dairies in Central and Sonoma Valleys of California. *PLoS ONE*, 6(2): 1-9.

Reddy K.R., R. Khaleel et M.R. Overcash, 1981. Behavior and transport of microbial pathogens and indicator organisms in soils treated with organic wastes. *Journal of Environmental Quality*, 10(3): 255-266.

Sabourin L., P. Duenk, S. Bonte-Gelok, M. Payne, D.R. Lapen et E. Topp, 2012. Uptake of pharmaceuticals, hormones and parabens into vegetables grown in soil fertilized with municipal biosolids. *Science of the Total Environment*, 431: 233-236.

Santo Domingo J.W., S. Harmon et J. Bennett, 2000. Survival of *Salmonella* species in river water. *Current Microbiology*, 40(6): 409-417.

Saunders O., J. Harrison, A.M. Fortuna, E. Whitefield et A. Bary, 2012. Effect of anaerobic digestion and application method on the presence and survivability of *E. coli* and fecal coliforms in dairy waste applied to soil. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(3): 1055-1063.

Sorber C.A., B.E. Moore, D.E. Johnson, H.J. Harding et R.E. Thomas, 1984. Microbiological aerosols from the application of liquid sludge to land. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 56(7): 830-836.

Scott A., K.L. Conn, G. Lazarovits et E. Topp, 2006. Dynamics of *Escherichia coli* in agricultural soils receiving swine manure slurry or liquid municipal biosolids. *Canadian Journal of Soil Science*, 86(5): 841-849.

Sidhu J.P.S. et S.G. Toze, 2009. Human pathogens and their indicators in biosolids: a literature review. *Environment International*, 35(1): 187-201.

Snowdon J.A., D.O. Cliver et J.C. Converse, 1989. Land disposal of mixed human and animal wastes: A review. *Waste Management & Research*, 7(2): 121-134.

Solomon E.B., C.J. Potenski et K.R. Matthews, 2002. Effect of irrigation method on transmission to and persistence of *Escherichia coli* O157: H7 on lettuce. *Journal of Food Protection*, 65(4): 673-676.

Somarelli J.A., J.C. Makarewicz, R. Sia et R. Simon, 2007. Wildlife identified as major source of *Escherichia coli* in agricultural dominated watersheds by BOX A1R-derived genetic fingerprints. *Journal of Environmental Management*, 82(1): 60-65.

Sorber C.A., B.E. Moore, D.E. Johnson, H.J. Harding et R.E. Thomas, 1984. Microbiological aerosols from the application of liquid sludge to land. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 56(7): 830-836.

Spiehs M. et S. Goyal, 2007. Best management practices for pathogen control in manure management systems. University of Minnesota. *Extension*, 10 p.

Steele M., A. Mahdi et J. Odumeru, 2005. Microbial assessment of irrigation water used for production of fruit and vegetables in Ontario, Canada. *Journal of Food Protection*, 68(7): 1388-1392.

Steele M. et J. Odumeru, 2004. Irrigation water as source of foodborne pathogens on fruit and vegetables. *Journal of Food Protection*, 67(12): 2839-2849.

Stine S.W., I. Song, C.Y. Choi et C.P. Gerba, 2005. Application of microbial risk assessment to the development of standards for enteric pathogens in water used to irrigate fresh produce. *Journal of Food Protection*, 68(5): 913-918.

Stone C., 2011. Fresh strawberries implicated in *E. coli* O157 outbreak in NW Oregon. *New York Berry News*, 10(7): 1-3.

Strawn L.K., E.D. Fortes, E.A. Bihn, K.K. Nightingale, Y.T. Gröhn, R.W. Worobo, M. Weidmann et P.W. Bergholz, 2013. Landscape and meteorological factors affecting prevalence of three food-borne pathogens in fruit and vegetable farms. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(2): 588-600.

Sullivan T.J., J.A. Moore, D.R. Thomas, E. Mallery, K.U. Snyder, M. Wustenberg, J. Wustenberg, S.D. Mackey et D.L. Moore, 2007. Efficacy of vegetated buffers in preventing transport of fecal coliform bacteria from pasturelands. *Environmental Management*, 40(6): 958-65.

Syndicat horticole et fruitier Outaouais-Laurentides, 2008. Cartographie hydrogéologique régionale dans la zone de production horticole et fruitière de la MRC de Deux-Montagnes – Volet eau de surface. Rapport final présenté au Programme d'approvisionnement en eau Canada-Québec du Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec. Projet no 5201, 137 p.

Talukder, A.S.M.H.M, C.A. Meisner, M.A.R Sarkar et M.S. Islam, 2011. Effect of water management, tillage options and phosphorus status on arsenic uptake in rice. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(4): 834-839.

Thomas M.K., D.F. Charron, D. Waltner-Toews, C. Schuster, A. R. Maarouf et J. D. Holt, 2006. A role of high impact weather events in waterborne disease outbreaks in Canada, 1975-2001. *International Journal of Environmental Health Research*, 16(3): 167-180.

Tanoue R., Y. Sato, M. Motoyama, S. Nakagawa, R. Shinohara et K. Nomiya, 2012. Plant uptake of pharmaceutical chemicals detected in recycled organic manure and reclaimed wastewater. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(41): 10203-10211.

Thomson B. et M. Rose, 2011. Environmental contaminants in foods and feeds in the light of climate change. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods* 3: 2-11.

Thurston-Enriquez J.A., 2002. Detection of protozoan parasites and microsporidia in irrigation waters used for crop production. *Journal of Food Production*, 65(2): 378-382.

Topp E., S.C. Monteiro., A. Beck., B.B. Coelho., A.B.A. Boxall., P.W. Duenk., S. Kleywegt., D.R. Lapen., M. Payne., L. Sabourin., H. Li et D. Metcalfe, 2008. Runoff of pharmaceuticals and personal care products following application of biosolids to an agricultural field. *Science of the Total Environment*, 396(1): 52-59.

Tyrrel S.F. et J.N. Quinton, 2003. Overland flow transport of pathogens from agricultural land receiving faecal wastes. *Journal of Applied Microbiology*, 94: 875-935.

Unc A. et M.J. Goss, 2004. Transport of bacteria from manure and protection of water resources. *Applied Soil Ecology* 25: 1-18.

U.S. EPA, 1993. Environmental regulations and technology control of pathogens and vector attraction in sewage sludge (Including Domestic Septage) Under 40 CFR Part 503, 177 p.

Van Elsas J.D., A.V. Semenov, R. Costa et J.T. Trevors, 2011. Survival of *Escherichia coli* in the environment: fundamental and public health aspects. *The ISME Journal: Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology*, 5(2): 173-183.

Vidovic S., H.C. Block et D.R. Korber, 2007. Effect of soil composition, temperature, indigenous microflora, and environmental conditions on the survival of *Escherichia coli* O157:H7. *Canadian Journal of Microbiology*, 53(7): 822-829.

Wachtel M.R., L.C. Whitehand et R.E. Mandrell, 2002. Association of *Escherichia coli* O157:H7 with preharvest leaf lettuce upon exposure to contaminated irrigation water. *Journal of Food Protection*, 65(1): 18-25.

Wang L., K.R. Makin et G.L. Marchin, 2002. Fecal bacteria survival in animal manure. *The Society for Engineering in Agricultural, Food, and Biological Systems*, 2-12.

Warriner K., A. Huber, A. Namvar, W. Fan et K. Dunfield, 2009. Recent advances in the microbial safety of fresh fruits and vegetables. *Advances in Food and Nutrition Research*, 57: 155-208.

Wendel A.M., D.H. Johnson, U. Sharapov, J. Grant, J.R. Archer, T. Monson, C. Koschmann, J.P. Davis, 2009. Multistate outbreak of *Escherichia coli* O157:H7 infection associated with consumption of packaged spinach, August-September 2006: the Wisconsin investigation. *Clinical Infectious Diseases*, 48(8): 1079-86.

Wood J.D., G.S. Bezanson, R.J. Gordon et R. Jamieson, 2010. Population dynamics of *Escherichia coli* inoculated by irrigation into the phyllosphere of spinach grown under commercial production conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 143(3): 198-204.

You Y., S.C. Rankin, H.W. Aceto, C.E. Benson, J.D. Toth et Z. Dou, 2006. Survival of *Salmonella enterica* serovar Newport in manure and manure-amended soils. *Applied and Environmental Microbiology*, 72(9): 5777–5783.

Zaleski K.J., K.L. Josephson, C.P. Gerba et I.L. Pepper, 2005. Potential regrowth and recolonization of *Salmonellae* and indicators in biosolids and biosolids-amended soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(7): 3701-3708.

Annexes

1. Teneurs limites en contaminants chimiques - catégories C des MRF
2. Critères de qualité des résidus relativement aux catégories P des MRF
3. Distances séparatrices d'épandage des MRF, ou de stockage de moins de 24 heures, pour la protection de l'eau et de l'air
4. Autres contraintes d'épandage des MRF pour la protection de l'eau, de l'air, du sol, de l'innocuité des cultures et du public
5. Critères du CCME en éléments traces, corps étrangers et organismes pathogènes dans les composts de type A et B
6. Recommandations du CCME pour la qualité de l'eau en vue de protéger les utilisations de l'eau à des fins agricoles – eau d'irrigation
7. Distances séparatrices à respecter pour les amas au champ

Annexe 1

Teneurs limites en contaminants chimiques - catégories C des MRF

Contaminants	Unités	Teneurs limites	
		Catégorie C1 ⁽¹⁾	Catégorie C2 ^(1,2)
Éléments considérés essentiels ou bénéfiques aux plantes ou aux animaux			
Arsenic	mg/kg, base sèche	13	41
Cobalt	mg/kg, base sèche	34	150
Chrome	mg/kg, base sèche	210	1 000
Cuivre	mg/kg, base sèche	400	1 000 ⁽³⁾
Molybdène	mg/kg, base sèche	5	20
Nickel	mg/kg, base sèche	62	180
Sélénium	mg/kg, base sèche	2,0	14 ⁽³⁾
Zinc	mg/kg, base sèche	700	1 850
Contaminants stricts			
Cadmium	mg/kg, base sèche	3,0	10
Mercure	mg/kg, base sèche	0,8	4
Plomb	mg/kg, base sèche	150	300
Dioxines et furannes	ng EQT/kg (base sèche) ⁽⁴⁾	17	50 ⁽⁵⁾

Tiré de MDDEP (2012a)

- (1) Pour être considérés de catégorie C1, tous les paramètres doivent respecter les critères C1. Pour être considérés de catégorie C2, tous les paramètres doivent respecter les critères C2 et au moins un paramètre doit excéder le critère C1. Si on n'exige pas d'analyse pour un contaminant chimique selon le tableau 6.1, la teneur est réputée être inférieure à la limite C1. La classification se base généralement sur la valeur moyenne des analyses réalisées au cours des 12 derniers mois (voir la section 6.5).
- (2) La limite de charge des résidus C2 est de 22 t (b.s.)/ha/5 ans, sauf exception (voir la note 1 du tableau 10.3). Certains résidus hors catégorie peuvent être épandus (voir la section 8.1). Les ACM hors catégorie peuvent notamment être épandus s'ils respectent les critères de la norme NQ 0419-090. Ces teneurs limites sont pondérées par le pouvoir neutralisant (PN). Plus le PN est élevé, moins la dose agronomique d'ASM sera élevée.
- (3) La teneur limite est portée à 1 500 mg Cu/kg et à 25 mg Se/kg pour les résidus avec > 2,5 % P₂O₅, base sèche et pour tous les biosolides municipaux conformément à la nouvelle norme BNQ (2009) sur les biosolides municipaux. Une teneur élevée en P réduira la charge de MRF apportée au sol.
- (4) Équivalents toxiques internationaux (EQT) de l'OMS. Les analyses ne sont pas requises dans plusieurs cas (voir les tableaux 6.1 et 6.2).
- (5) Une MRF contenant entre 51 et 100 ng EQT/kg de dioxines et de furannes peut faire l'objet d'un recyclage non agricole.

Annexe 2

Critères de qualité des résidus relativement aux catégories P des MRF

Résidus	Options de catégorie P1	Options de catégorie P2
<p>Résidus contaminés par :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Matières fécales humaines⁽¹⁾ • Fumiers • Résidus ou fumiers d'abattoirs • Cadavres d'animaux⁽²⁾ • Résidus d'œufs • Couches jetables 	<p>a) Séchage thermique : respect des exigences de désinfection de la norme du BNQ sur les biosolides municipaux (CAN/BNQ 0413-400)</p> <p>b) Biosolide municipal chaulé : respect des exigences de désinfection de la norme du BNQ sur les biosolides municipaux (CAN/BNQ 0413-400)</p> <p>c) Toute autre combinaison équivalente selon le USEPA pour satisfaire les exigences de la classe A en termes de réduction des agents pathogènes (incluant l'analyse obligatoire des salmonelles) et d'attraction de vecteurs. (http://www.epa.gov/own/mtb/biosolids/503pe/index.htm)</p>	<p>a) chaulage à pH ≥ 12 pendant un minimum de 2 heures et maintient à pH $\geq 11,5$ pendant un minimum de 22 heures⁽³⁾.</p> <p>b) <i>E. coli</i> < 2 000 000 NPP/g (b.s.)⁽⁴⁾ et traitement biologique aérobie et taux d'assimilation de O₂ \leq 1500 mg O₂/kg mat. organique/heure.</p> <p>c) <i>E. coli</i> < 2 000 000 NPP/g (b.s.)⁽⁴⁾ et incorporation du résidu au sol en moins de 6 heures⁽⁵⁾.</p> <p>d) <i>E. coli</i> < 2 000 000 NPP/g (b.s.)⁽⁴⁾ et traitement biologique par boues activées et âge des boues \geq 20 jours.</p> <p>e) <i>E. coli</i> < 2 000 000 NPP/g (b.s.)⁽⁴⁾ et biosolide d'un étang non vidangé depuis \geq 4 ans.</p> <p>f) <i>E. coli</i> < 2 000 000 NPP/g (b.s.)⁽⁴⁾ et de catégorie d'odeur O1 et O2 y compris les digestats provenant d'une unité de biométhanisation (digestion anaérobie).</p> <p>g) Salmonelles non détectées dans 10 g humides, pour les résidus ayant une siccité \geq 15 % (ou dans 50 g humides pour les autres résidus) et catégorie d'odeur O1 ou O2.</p> <p>h) Toute autre combinaison équivalente selon le USEPA pour satisfaire les exigences de la classe B en termes de réduction des agents pathogènes et d'attraction de vecteurs.</p>
<p>Composts</p>	<p>Salmonelles non détectées dans 10 g humides et respect d'un des critères de maturité suivants selon les méthodes de la norme CAN/BNQ 0413-200 :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Taux d'assimilation de O₂ \leq 400 mg/kg matière organique/heure ou • Taux d'évolution du CO₂ \leq 4 mg C-CO₂/g matière organique par jour, ou • Augmentation de la température du compost au-dessus de la température ambiante < 8 °C (test d'autoréchauffement). Le critère de maturité n'est pas exigé si l'ensemble de l'amas est âgé d'au moins trois ans et est classé O1. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>E. coli</i> < 2 000 000 NPP/g (b.s.)⁽⁴⁾ • et taux d'assimilation de O₂ \leq 1 500 mg/kg matière organique/heure, • et le produit doit avoir subi un procédé de compostage partiel.

Adapté de MDDEP (2012a)

(1) Les résidus sont réputés exempts d'eaux usées sanitaires si cette composante s'avère négligeable, soit moins de 0,1 % de la masse sèche des eaux usées. Une attestation écrite du générateur doit être fournie à cet effet. Le même raisonnement s'applique aux couches jetables et aux autres résidus issus de la collecte des résidus urbains triés à la source.

(2) Des restrictions s'appliquent aux composts d'animaux morts (article 29.1 du REA).

(3) Tous les résidus doivent avoir atteint un pH de 12. Il est possible que le pH diminue par la suite, ce qui peut entraîner une nouvelle croissance microbienne et la génération d'odeurs nauséabondes. Il est donc conseillé de pratiquer le chaulage le plus rapidement possible et de maintenir le pH élevé par la suite.

(4) NPP : nombre le plus probable. Utiliser la moyenne géométrique (et non arithmétique).

(5) L'outil aratoire doit être assez efficace pour permettre une bonne incorporation. Le chisel n'est donc pas approprié. Les techniques d'incorporation permettant une réduction marquée des odeurs sont acceptables.

Annexe 3

Distances séparatrices d'épandage des MRF, ou de stockage de moins de 24 heures, pour la protection de l'eau et de l'air

Milieux à protéger	Lieux	Exigences de base	Exigences supplémentaires (catégories P2 ou O2/O3)
Eau souterraine	Ouvrage de captage de l'eau souterraine destinée à la consommation humaine	30 m; 100 m si la MRF a été contaminée par des matières fécales humaines, sauf pour les produits certifiés conformes par le BNQ ⁽¹⁾	
	Ouvrage collectif de captage d'eau souterraine – aire de protection bactériologique	L'aire de protection bactériologique réputée vulnérable, sauf si la MRF est certifiée conforme par le BNQ ⁽¹⁾	
	Ouvrage collectif de captage d'eau souterraine – aire de protection virologique	L'aire de protection virologique réputée vulnérable si la MRF a été contaminée par des matières fécales humaines, sauf pour les MRF certifiées conformes par le BNQ ⁽¹⁾	
	Tourbière et sol organique (> 30 % de matière organique b.s.)		P2 : Interdit
Eau de surface	Fossé agricole (aire d'écoulement < 2 m ²)	1 m ^(2,3,4)	
	Fossé en milieu non agricole	1 m	P2 : 10 m ⁽⁵⁾
	Cours d'eau, lac, marécage > 10 000 m ² ou étang	3 m ^(2,3,4)	
	Sols situés en zone inondable		P2 : Interdit
Air (bioaérosols)	Ligne de propriété		P2 : 5 m ⁽⁵⁾
	Route		P2 : 5 m ⁽⁵⁾
	Périmètre d'urbanisation d'une municipalité ⁽⁶⁾		P2 : 250 m ⁽⁵⁾
	Immeuble protégé ⁽⁶⁾		P2 : 100 m ⁽⁵⁾
	Maison d'habitation ⁽⁶⁾		P2 : 50 m ⁽⁵⁾
Air (odeurs)	Maison d'habitation ⁽⁶⁾		O2 : 75 m (O3 : 500 m), sauf si incorporé au sol immédiatement ^(7,8)
Air (poussières)	Maison d'habitation ⁽⁶⁾	Aucune poussière ne doit être transportée à plus de 2 m à l'intérieur des limites d'une propriété voisine ⁽⁹⁾	

(1) Il s'agit de normes obligatoires du RCES (voir le texte réglementaire pour le libellé exact des normes).

(2) Il s'agit de normes réglementaires du REA obligatoires pour les terres cultivées en zone agricole. Voir le texte pour le libellé exact des normes (voir aussi le glossaire du présent Guide).

(3) Ces bandes riveraines peuvent être modifiées uniquement par une réglementation municipale (voir la section 3.7).

(4) La bande riveraine est mesurée à partir de la ligne des hautes eaux. S'il y a un talus, cet espace doit inclure une largeur d'au moins 1 m sur le haut du talus.

(5) La distance doit être doublée si le résidu est liquide et qu'il n'est pas épandu par des rampes munies de pendillards.

(6) Voir le glossaire du présent Guide. La maison d'habitation n'appartient pas au propriétaire.

(7) Dans le cas d'un épandage de résidu de liquide avec une rampe munie de pendillards, réduire de moitié la distance séparatrice. La distance peut également être réduite dans d'autres situations, pourvu qu'on obtienne une lettre de consentement du propriétaire ou du locataire de la maison d'habitation.

(8) Incorporation au sol en moins de 5 minutes avec un outil aratoire adéquat (voir la note du tableau 8.3 pour les équipements adéquats.) pour une incorporation entre 5 minutes et 6 heures, la distance séparatrice peut être réduite de moitié. Il en va de même pour l'incorporation immédiate (< 5 minutes), mais non complète, à l'aide d'un chisel.

(9) Dans le cas de certains résidus industriels provenant du dépeussierage à sec, il s'agit d'une norme obligatoire en vertu du Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère.

Tiré de MDDEP (2012a)

Annexe 4

Autres contraintes d'épandage des MRF pour la protection de l'eau, de l'air, du sol, de l'innocuité des cultures et du public

Milieux / personnes à protéger	Lieux/objets	Exigences de base	Exigences supplémentaires (catégories C2, P2, O2/O3 ou E2)
Eau souterraine	Ouvrage collectif de captage d'eau souterraine	Prévenir le ruissellement dans les aires de protection des ouvrages de captage des eaux souterraines, pour les MRF non certifiées conformes par le BNQ (norme du RCES).	
Eau de surface	Incorporation au sol	< 48 heures si l'épandage se fait sur un sol nu (exceptions : cultures pérennes et semis direct; MRF à très faible teneur en N et P (C/N > 30 et P ₂ O ₅ < 0,25 %, base sèche); MRF utilisées en paillis (section 12.3)).	
	Charge hydraulique maximale (résidus liquides)	< 100 m ³ /ha/jour	
	Période d'épandage (résidus liquides)	Uniquement du 15 juin au 15 août si la principale valeur du résidu est son contenu en eau pour l'irrigation des plantes (tableau 7.1).	
	Équipements d'épandage (résidus liquides)	Équipements spécialisés limitant la compaction des sols s'il s'agit d'un épandage en post-récolte ou tôt au printemps.	
	Sols gelés ou enneigés	Interdiction d'épandage (norme du REA).	
	Pente du sol	< 9 % (< 5 % si le résidu est liquide). Ne s'applique pas aux MRF utilisées pour stabiliser les berges (voir la section 12.2) ni aux pentes non directement en lien hydraulique avec des fossés et autres eaux de surface visées par le REA.	
Air (bioaérosols)	Équipements d'épandage (résidus liquides)		P2 : Utilisation de rampes munies pendillards ou de rampes basses (non exigé en milieu forestier).
Sol	Charge en éléments traces		C2 : ≤ 22 t (b.s.) de résidus/ha/5 ans ⁽¹⁾
Innocuité des cultures	Cultures interdites	Épandage de biosolides municipaux et autres résidus semblables sur des parcelles dont la culture est destinée à l'alimentation humaine et sur les pâturages, sauf s'il s'agit de produits certifiés par le BNQ ⁽²⁾ .	P2 : Épandage sur des parcelles dont la culture est destinée à l'alimentation humaine et sur les pâturages ⁽²⁾ . Exception : ces interdictions ne s'appliquent pas aux biosolides papetiers P2 non contaminés par des eaux usées municipales ou domestiques selon le tableau 8.3. E2 : Interdiction sur les pâturages
	Délai de récolte des cultures destinées à l'alimentation humaine ⁽³⁾		P2 : ≥ 36 mois à la suite de l'épandage (14 mois si la partie récoltée est au-dessus du sol, ex. : maïs sucré suite à une prairie ayant reçu une MRF P2) ⁽³⁾ . Exception : pour les biosolides papetiers P2 non contaminés par des eaux usées municipales ou domestiques, considérer un délai de 3 mois ⁽³⁾ .

Milieux / personnes à protéger	Lieux/objets	Exigences de base	Exigences supplémentaires (catégories C2, P2, O2/O3 ou E2)
Innocuité des cultures (suite)	Délai de récolte ou de pâturage des cultures destinées à l'alimentation animale (grains, foin, pâturages, etc.)		P2 : > 30 jours (pâturages ≥ 12 mois)
Public	Incorporation au sol		P2 : < 6 heures, si on vise l'option c de la catégorie P2 du tableau 8.3.
	Délai de récolte du gazon en plaques		P2 : ≥ 12 mois
	Accès public aux lieux d'épandage		P2 : ≥ 12 mois

Tiré de MDDEP (2012a)

(1) Calculer selon l'équation suivante : masse C2 à épandre + masse C2 déjà épandue (60 mois précédant). Calcul non exigé si la MRF à épandre contient ≥ 25 % ÉCC (base sèche); **ou** ≥ 1 % P₂O₅ (b.s.); **ou** si le taux d'épandage < 4,4 t/ha/an (b.s.).

(2) Norme du REA. L'interdiction ne vise que l'année en cours. Pour les pâturages, précisions que l'interdiction demeure tant et aussi longtemps que la parcelle conserve cette vocation. Par exemple, une parcelle qui a reçu des animaux en début juillet peut ensuite recevoir des boues en fin juillet si elle a perdu sa vocation de pâturages et est dorénavant cultivée autrement (récolte de foin, labours, etc.)

(3) Il s'agit de MRF P2 utilisées dans le passé pour une culture non vivrière, par exemple la production de fourrages, sur une parcelle sujette à faire l'objet d'une culture pour l'alimentation humaine au cours des saisons suivantes. Le délai couvre la durée entre l'épandage initial et la récolte et non pas le semis. Ainsi, si une MRF P2 est épandue en mai 2012, on ne pourra pas semer de grains destinés à l'alimentation humaine en 2012; on pourra le faire au printemps 2013, si la récolte de grains est prévu en août (respect du 14 mois). Pour le pâturage, c'est la durée entre l'épandage et le retour des animaux au pâturage.

Annexe 5

Critères du CCME en éléments traces, corps étrangers et organismes pathogènes dans les composts de type A et B

Paramètre		Type A	Type B
		Teneurs maximales dans le compost (base sèche)	
Arsenic	mg/ kg	13	75
Cobalt	mg/ kg	34	150
Chrome	mg/ kg	210	1060 ¹
Cuivre	mg/ kg	400	757 ¹
Molybdène	mg/ kg	5	20
Nickel	mg/ kg	62	180
Sélénium	mg/ kg	2	14
Zinc	mg/ kg	700	1850
Cadmium	mg/ kg	3	20
Mercure	mg/ kg	0,8	5
Plomb	mg/ kg	150	500
Corps étrangers tranchants	nb corps étrangers / 500 mL	tous < 3 mm	≤ 3 corps étrangers tous ≤ 12,5 mm ²
Autres corps étrangers	nb corps étrangers / 500 mL	≤ 1 corps étranger tous ≤ 25 mm	≤ 2 corps étrangers tous ≤ 25 mm
Coliformes fécaux	NPP / g	< 1000	
Salmonelles	NPP/ 4 g	< 3	

¹ Détails des calculs dans le *Document à l'Appui des critères de qualité pour compost* [norme nationale du Canada CN/BNQ 0413-200, critères du CCME, critères d'Agriculture et Agroalimentaire Canada]

² Les composts de type B ne doivent pas être utilisés dans des pâturages, ni des parcs, ni à des fins résidentielles.

³ Critères pour les composts contenant d'autres matières premières que les résidus de jardin. Ces composts doivent également subir un traitement thermique. Il n'y a pas de distinction entre les types A et B quant aux teneurs en microorganismes.

Adapté de CCME (2005)

Annexe 6

Recommandations du CCME pour la qualité de l'eau en vue de protéger les utilisations de l'eau à des fins agricoles – eau d'irrigation

Paramètre	Groupe chimique	Concentration maximale recommandée (µg/L)
Aldicarbe	Organique – pesticides	54.9
Aluminium	Inorganique	5000
Arsenic	Inorganique	100
Atrazine	Organique – pesticides	10
Béryllium	Inorganique	100
Bromaxil	Organique – pesticides	0.2
Bromoxynil	Organique – pesticides	0.33
Cadmium	Inorganique	5.1
Chlorothalonil	Organique – pesticides	5.8
Chrome hexavalent	Inorganique	8
Chrome trivalent	Inorganique	4.9
Coliformes fécaux (<i>E. coli</i>)	Biologique	100 par 100mL
Coliformes totaux	Biologique	1000 par 100 mL
Cyanazine	Organique – pesticides	0.5
Dicamba	Organique – pesticides	0.006
Diclofop-méthyl	Organique – pesticides	0.18
DIPA	Organique – pesticides	2000
Dinosèbe	Organique – pesticides	16
Fer	Inorganique	5000
Fluorure	Inorganique	1000
Linuron	Organique – pesticides	0.071
Lithium	Inorganique	2500
MCPA	Organique – pesticides	0.025
Métolachlore	Organique – pesticides	28
Métribuzine	Organique – pesticides	0.5

Manganèse	Inorganique	200
Plomb	Inorganique	200
Simazine	Organique – pesticides	0.5
Sulfolane	Organique – pesticides	500
Tébutiuron	Organique – pesticides	0.27
Uranium	Inorganique	10
Vanadium	Inorganique	100

Note. D'autres paramètres ayant des recommandations variables sont décrits dans ce document produit par le CCME. C'est le cas du bore, des chlorures, du cuivre, des matières dissoutes totales (salinité), du molybdène, du sélénium et du zinc. Les recommandations peuvent notamment dépendre du pH du sol, de la culture et du type d'utilisation (continue ou intermittente). L'information supplémentaire concernant ces paramètres est disponible au site suivant : <http://sts.ccme.ca/?chems=all&chapters=2&lang=fr>.

Annexe 7

Distances séparatrices à respecter pour les amas au champ

LIEUX À PRÉSERVER	DISTANCE (m)
TOUT OUVRAGE DE CAPTAGE D'EAU SOUTERRAINE DESTINÉE À LA CONSOMMATION HUMAINE	
Règlement sur le Captage des Eaux Souterraines (Québec)	300
Alberta (Agricultural Operation Practices Act)	100
Colombie-Britannique (Agricultural Waste Control Regulation)	30
Île-du-Prince-Édouard (Guidelines for Manure Management)	90-300
Manitoba (Livestock Operations and Groundwater Quality)	100
Ontario (Loi sur la gestion des éléments nutritifs)	45-90
Saskatchewan (Saskatchewan Agriculture and Food)	100
Terre-Neuve et Labrador (Environmental Farm Practices Guidelines for Livestock Producers in Newfoundland and Labrador)	100
État de New York (Conservation Practice Standard, N-Y Natural Resources Conservation Service, USDA)	90
État du Minnesota (Manure Stockpiling Site)	30
État du Wisconsin (Waste Storage Facility, Conservation Practice Standard)	75
LAC, COURS D'EAU, MARAIS NATUREL, MARÉCAGE OU ÉTANG	
Alberta (Agricultural Operation Practices Act)	30-100
Colombie-Britannique (Agricultural Waste Control Regulation)	30
Manitoba (Livestock Operations and Groundwater Quality)	100
Nouvelle-Écosse (Manure Management Guideline for Livestock Producers)	100
Saskatchewan (Saskatchewan Agriculture and Food)	100
Ontario (Loi sur la gestion des éléments nutritifs)	30-300
Terre-Neuve et Labrador (Environmental Farm Practices Guidelines for Livestock Producers in Newfoundland and Labrador)	100
État de New York (Conservation Practice Standard, N-Y Natural Resources Conservation Service, USDA)	90
État du Minnesota (Manure Stockpiling Site)	90
État du Wisconsin (Waste Storage Facility, Conservation Practice Standard)	90-300
PROPRIÉTÉ VOISINE	
Alberta (Agricultural Operation Practices Act)	150
Nouvelle-Écosse (Manure Management Guideline for Livestock Producers)	50-600
Ontario (Loi sur la gestion des éléments nutritifs)	125-250
Saskatchewan (Saskatchewan Agriculture and Food)	800
Terre-Neuve et Labrador (Environmental Farm Practices Guidelines for Livestock Producers in Newfoundland and Labrador)	100
FOSSÉ AGRICOLE	
Nouvelle-Écosse (Manure Management Guideline for Livestock Producers)	20
État du Minnesota (Manure Stockpiling Site)	15
État du Wisconsin (Waste Storage Facility, Conservation Practice Standard)	30

Adapté de Côté *et al.* (2009)