

Entotechnologie

Les insectes au service
de l'humain pour la gestion
des résidus organiques

Les insectes font partie de la solution à plusieurs enjeux sociaux et environnementaux. En effet, en couplant l'entotechnologie à l'entomophagie, il serait possible d'améliorer – par une approche éthique – plusieurs problématiques d'ordre mondial en agissant sur : la réduction du gaspillage alimentaire, la mise en valeur de nos matières organiques résiduelles, la diminution de l'empreinte environnementale de la production de protéines animales, la réduction des émissions de gaz à effet de serre, l'atténuation des effets de la surpêche, ainsi que la faim dans le monde. Rien de moins!

gestion des matières résiduelles au Québec? Existe-t-il un potentiel d'amoinissement de l'empreinte écologique des élevages d'animaux en substituant une partie de leur diète avec des farines d'insectes? Les stratégies et politiques gouvernementales pourraient-elles inclure ce secteur émergeant comme solution potentielle à la réduction du gaspillage alimentaire et à l'amélioration du potentiel de recyclage des matières résiduelles organiques? Cet article vise à répondre à ces questions en identifiant notamment les gisements potentiels de matières organiques (MO) qui pourraient être traités à l'aide des insectes. Enfin, nous aborderons les questions de la perception des consommateurs québécois, du contexte politique et de l'évolution de ce secteur au Québec.

PAR LOUISE HÉNAULT-ETHIER

Ph. D., chef des projets scientifiques, Fondation David Suzuki, bureau du Québec et de l'Atlantique

PAR MÉDHAVI DUSSAULT

B. Adm., étudiant à la maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke

PAR PAULA CABRERA

M. Sc., Institut des sciences de l'environnement, Laboratoire de lutte biologique, Université du Québec à Montréal

PAR BÉATRICE LEFEBVRE

M. Sc., étudiante au doctorat en sociologie, Université du Québec à Montréal

PAR SOPHIE TAILLEFER

M. Sc., agente de développement industriel, RECYC-QUÉBEC

PAR MARIE-HÉLÈNE DESCHAMPS

Ph. D., Département des sciences animales, Université Laval

ET PAR GRANT VANDENBERG

Ph. D., Réseau stratégique FRQNT, Ressources Aquatiques Québec, Département des sciences animales, Université Laval

INTRODUCTION

Les insectes sont consommés partout dans le monde, non seulement pour des raisons de subsistance, mais bien souvent en tant que mets recherchés. Au Québec, ils sont de plus en plus disponibles comme aliments sous forme d'insectes entiers grillés, de farine ou intégrés dans des aliments transformés comme des barres protéinées (Dussault, 2017), et ont fait leur entrée dans l'alimentation animale au Canada en 2016 (Enterra Feed Corp, 2016). Le mot entomophagie (du grec *Entoma* qui signifie insecte) décrit la consommation des insectes par l'homme ou les animaux. L'entotechnologie, aussi appelée entomotechnologie, est une approche technologique de production d'insectes, souvent appliquée pour valoriser les résidus organiques (aussi appelée surcyclage ou encore biotransformation). En plus de révolutionner l'alimentation, les insectes pourraient aussi changer nos approches de gestion des matières résiduelles organiques. Depuis une récente publication de l'Organisation des Nations Unies, mettant de l'avant l'urgence d'intégrer les insectes dans notre alimentation pour assurer l'approvisionnement d'une population en forte croissance sans mettre en péril le fonctionnement de nos écosystèmes (FAO, 2013), ce secteur est en plein développement à travers le monde. Au Québec et au Canada, le contexte est plutôt favorable à cet essor. L'entotechnologie pourrait-elle participer à la

MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

Cet article se base sur les recherches de plusieurs équipes universitaires québécoises qui s'intéressent de près à l'émergence récente du secteur des entotechnologies au Québec. Avec l'aide des données colligées par RECYC-QUÉBEC, un portrait des matières organiques putrescibles résiduelles (MOP) d'intérêt pour la bioconversion par des insectes et la cogénération d'un sous-produit fertilisant (*frass*) a été dressé (Hénault-E. *et al.*, 2016). Une revue de littérature a permis d'inventorier les familles d'insectes se prêtant au traitement des résidus organiques résidentiels, agro-industriels ou agricoles dans le secteur urbain, périurbain ou rural (Cabrera *et al.*, 2015). Plusieurs projets de recherche sur les qualités nutritionnelles de larves de mouches pour les poissons d'élevage sont menés présentement en partenariat avec des industriels québécois et internationaux (Deschamps *et al.*, 2016). L'état de ce secteur, avec ses agents de changement et ses défis, a été recensé à travers des entrevues avec plus de 25 acteurs gouvernementaux, privés et des leaders en recherche et développement (R et D) en Amérique du Nord (Dussault, 2017; Hénault-Ethier *et al.*, 2015). Une revue des politiques publiques au Canada et dans cinq autres pays du globe a été préparée (Lähteenmäki-Uutela *et al.*, 2017). Enfin, un sondage ayant recueilli plus de 700 répondants, dont une majorité de Québécois, a permis de mieux comprendre les perceptions des consommateurs au sujet des insectes dans



leur alimentation, dans l'alimentation des animaux et comme technologie de traitement des matières résiduelles organiques (Dussault, 2017).

PERCEPTIONS DES CONSOMMATEURS

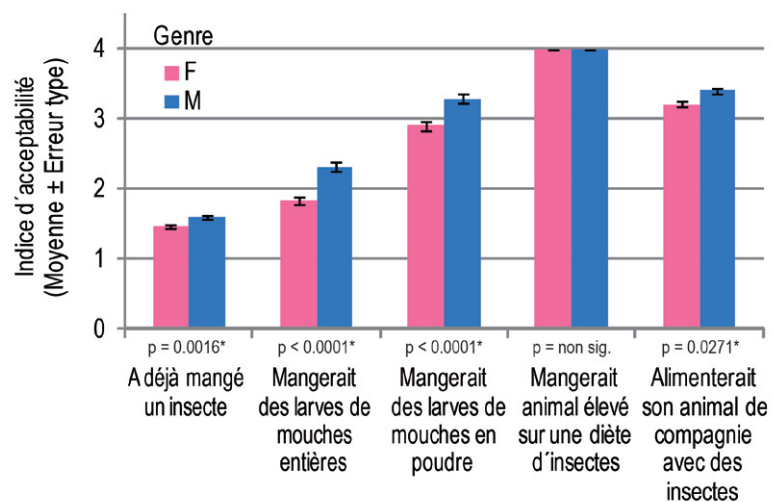
À l'exception des végétariens, les répondants à un sondage déployé à l'été 2016 ont indiqué qu'ils consommeraient des poissons, poulets, bœufs ou porcs élevés avec des moulées à base d'insectes (figure 1). Plus de 80 % d'entre eux accepteraient aussi de nourrir leurs animaux de compagnie avec des croquettes contenant des insectes. Alors qu'un tiers des répondants n'a jamais goûté d'insectes et que moins de 10 % les intègrent dans leur diète régulière, l'introduction des insectes dans l'alimentation animale semble être la voie la plus prometteuse dans l'expansion de l'entomophagie au Québec. L'utilisation des déchets dans l'alimentation des insectes n'est pas non plus entièrement taboue, puisque 24 % à 26 % des répondants accepteraient les résidus alimentaires et de ferme dans l'alimentation des insectes d'élevage (Hénault-E. *et al.*, 2016). Et si les consommateurs se montrent peu enclins à consommer des larves de mouches entières (car ce sont les mouches qui sont les plus prometteuses dans la gestion des résidus organiques), réduisez-les en poudre et leur intérêt à les manger passera de « probablement pas » à « probablement »!

POLITIQUES

À l'échelle nord-américaine, les principaux acteurs s'organisent autour d'une nouvelle coalition s'intéressant aux insectes comestibles (www.edibleinsectcoalition.org). Les gouvernements semblent attendre l'essor de l'industrie pour légiférer ces nouvelles technologies. Le contexte politique actuel au Canada ne semble toutefois pas limiter le démarrage d'opérations industrielles, contrairement à d'autres pays dans le monde aux prises avec un cadre réglementaire potentiellement moins favorable à cette innovation (Lähteenmäki-Uutela *et al.*, 2017).

Une optimisation dans la mise en valeur de nos MO est l'un des objectifs fixés par la politique québécoise de gestion des matières résiduelles, qui prévoit l'interdiction de l'enfouissement des MO d'ici 2020. Le concept de la valorisation des

FIGURE 1
Acceptabilité de l'entomophagie dans la consommation humaine ou animale parmi 715 répondants à un sondage (excluant 12 % de végétariens).



Les indices d'acceptabilité sont définis comme suit : Avez-vous déjà mangé un(des) insecte(s) ? (1) Non; (2) Par accident; (3) En dégustation; et (4) Dans mon alimentation. À quel point accepteriez-vous de manger entiers ou en poudre des larves de mouches ? (1) Définitivement pas; (2) Probablement pas; (3) Probablement; et (4) Définitivement. Quel animal d'élevage seriez-vous prêt à consommer s'il avait été nourri aux moulées d'insectes ? Somme (1 point chacun) : poisson, poulet, porc, bœuf. Seriez-vous prêt à remplacer l'alimentation (ou une partie de l'alimentation) de votre animal de compagnie (chien ou chat) avec des produits à base de farine d'insectes ? (1) Définitivement pas; (2) Probablement pas; (3) Probablement; et (4) Définitivement.

MO dans les élevages d'insectes n'est pas abordé de façon explicite dans le plan d'action pour atteindre les objectifs de la politique provinciale. Pourtant, selon les hiérarchies des modes de gestion des MO au Québec, les entotechnologies devraient être priorisées par rapport au recyclage non alimentaire des nutriments (compostage) ou à une valorisation biologique énergétique (biométhanisation).

SITUATION ACTUELLE DES ÉLEVAGES D'INSECTES AU CANADA

Les grillons (*Grillidaees*) et les vers à farine (*Ténébrionidaees*) sont déjà appréciés par les consommateurs. Les plus grands élevages au monde se trouvent d'ailleurs en Ontario, chez Entomo Farms, où plus de 100 000 pi²

Entotechnologie

Les insectes au service de l'humain pour la gestion des résidus organiques

FIGURE 2
Pupes de mouches soldats noires



© Justine Richard - CBGQ - Université Laval

de poulaillers ont été reconvertis en condos pour produire plus de 100 millions de grillons. Ces insectes pourraient être intéressants pour consommer des résidus de grains (boulangeries, minoteries, etc.).

Pour valoriser de plus grands volumes (matières organiques triées à la source, résidus commerciaux ou industriels), ou des résidus comportant un risque sanitaire plus élevé (fumiers, postconsommation, résidus en putréfaction), il faut plutôt faire appel à diverses espèces de mouches (*Stratiomyidae* et *Muscidae*). Des projets à l'échelle pilote et industrielle sont en développement au Canada avec des larves de mouches domestiques (entreprise Larvatría) et de mouches soldats noires (figure 2) (entreprises AgriProtein et Enterra Feed Corp). Chez Enterra, en Colombie-Britannique, ces larves sont élevées sur des résidus organiques commerciaux, de type « préconsommation », dans

une usine de traitement avec une capacité de 100 tonnes (t) par jour. Plusieurs autres usines similaires sont projetées au pays, avec des résidus organiques mixtes ou des résidus de ferme. Cette mouvance s'inscrit dans un courant mondial fort, et prendra le Québec d'assaut sous peu, comme le suggère l'essor de nombreuses entreprises québécoises et canadiennes dans les dernières années (tableau 1).

AVANTAGES DES ENTOTECHNOLOGIES

Réduire le gaspillage alimentaire

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) soutient qu'une augmentation de 70 % de la production alimentaire mondiale est nécessaire pour soutenir les neuf milliards d'humains qui peupleront la planète d'ici 2050 (FAO, 2013). Cependant, l'augmentation de la productivité alimentaire mondiale aura un lourd tribut sur l'empreinte environnementale de nos activités agricoles, surtout si l'on ne fait qu'intensifier les pratiques actuelles pour la production de protéines animales (FAO, 2006). Actuellement, 30 % de la production agricole mondiale est gaspillée (FAO, 2011).

Mettre en valeur nos matières organiques résiduelles

La gestion des MO était responsable de 5,9 % des gaz à effet de serre (GES) au Québec en 2013 (MDDELCC, 2013). L'enfouissement des MO entraîne des émissions de méthane, ce qui est préjudiciable à nos efforts de lutte aux changements climatiques. Environ 57 % de nos déchets solides résidentiels sont organiques, représentant 1,75 million de tonnes (Mt) de résidus (RECYC-QUÉBEC, 2014). Un tonnage équivalent est produit par le secteur des industries, commerces et institutions (ICI). D'ici 2020, ce sont donc 3,5 Mt de MO qui seront bannis de l'enfouissement. Alors que 96 % des MO issus de l'agriculture sont déjà valorisés, les taux de recyclage des résidus municipaux (21 %) et des ICI (29 %) demeurent faibles. Le compostage et la biométhanisation, qui permettent le recyclage des nutriments et la production de biométhane, sont certes des approches plus avantageuses que l'enfouissement. Entre la réduction du gaspillage des aliments encore sains et le compostage ou la biométhanisation des résidus impropres

TABEAU 1

Quelques entreprises canadiennes en activité en 2016 pour la production, l'importation ou la transformation d'insectes destinés à l'alimentation humaine ou animale.

COMPAGNIE	FONDATION	LOCALISATION	TYPE D'INSECTES				MARCHÉ VISÉ			ACTIVITÉ
			Grillons	Ténébrions	Mouches	Autres	Alimentation humaine	Alimentation animale	Fertilisant	
Entomo Farms	2014	ON	X	X			x	x	x	Producteur
Enterra Feed Corp	2013	CB			X		x	x	x	Producteur
Larvatría	2008	QC			X			x	x	Producteur (installation pilote)
AgriProtein (North America)	2015	ON			X			x	x	Producteur (usine pour 2017)
VireBebittes (Krikk)	2016	Sherbrooke, QC	X				X			Producteur
Aspire Food Group	2013	QC (incorporation) Opérations aux États-Unis	X			X	X			Producteur
Oofbug	2013	BC		X				X		
Third Millennium Farming	2016	QC	X							Designer d'équipements d'élevage
La ferme d'insectes	2015	Frelishburg, QC		X			X			Producteur et dégustateur
Gourmex inc.	2012	QC		X			X			Importateur
Wilder & Harrier (Hexa Food)	2015	QC	X					x		Transformateur (croquettes pour animaux de compagnie)
Gryllies	2016	QC	X				X			Transformateur (en démarrage, sauces et poudres)
uKa inc.	2013	QC					X			Transformateur (barres protéinées)
Näak	2016	QC	X				x			Transformateur (barres protéinées pour athlètes)
Crik Nutrition	2015	MB	X				X			Transformateur
One Hop Kitchen	2015	ON	X	X						Transformateur (sauce bolognaise)
Arista Food	2016	QC	X				X			Transformateur (pâtes alimentaires)

à la consommation, la production d'insectes à partir de résidus organiques serait à favoriser dans la mesure où elle permet d'optimiser nos pratiques et contribue à réduire notre empreinte écologique (figure 3, p. 50). Il serait alors possible de faire référence à la notion de « surcyclage », soit une option de recyclage dont les avantages environnementaux sont optimisés sur plusieurs plans.

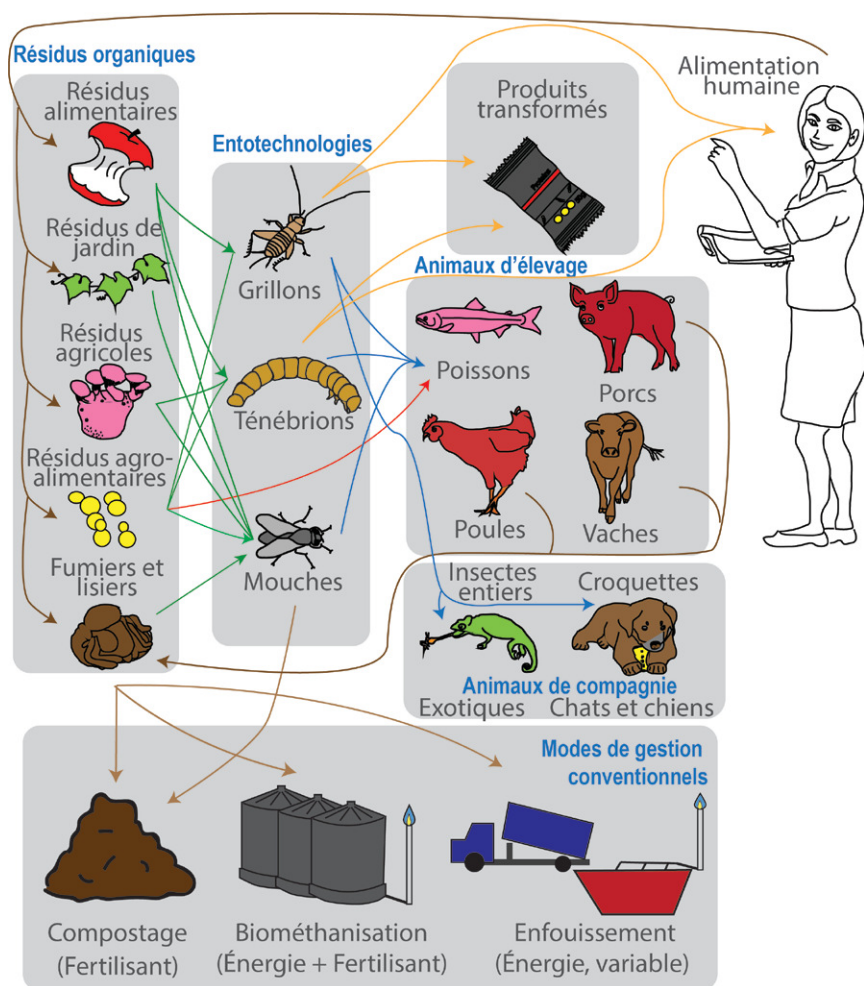
Toutes les matières organiques résiduelles (MOR) n'ont pas la même qualité, fraîcheur ou disponibilité (tableau 2, p. 51). Les MOR domestiques représentent des volumes importants, mais

ils sont souvent contaminés ou défraîchis lors de la collecte. Les MOR fraîches et peu contaminées provenant de nos commerces alimentaires gagneraient à être valorisées par les entotechnologies. En 2009, 31 % des restaurants et 24 % des épiceries participaient à une collecte des MO, et ils sont principalement desservis par les entreprises privées (RECYC-QUÉBEC, 2009). À Montréal, 228 064 t de MOR sont générées par 20 382 ICI (Solínov, 2012). Les fabricants d'aliments et de boissons ne représentent que 3 % des ICI montréalais, mais ils génèrent à eux seuls 37 % du tonnage total en MO qu'ils valorisent déjà généralement

Entotechnologie

Les insectes au service de l'humain pour la gestion des résidus organiques

FIGURE 3
Schéma de la valorisation des matières organiques à l'aide des entotechnologies, compostage, biométhanisation ou enfouissement.



du total) dans moins de 1 000 établissements avec 10 000 employés. Avec une génération importante, concentrée, avec moins d'intervenants et un potentiel de contamination possiblement moindre, ce segment représente un partenariat réaliste pour les entreprises désirant se lancer dans les entotechnologies pour la gestion des MOR (Hénault-E. *et al.*, 2016).

Production de protéines animales durables et écoresponsables

Les élevages d'animaux émettent plus de GES (18 % des émissions mondiales) que tous les secteurs du transport combinés (FAO, 2006). Cet impact majeur découle en partie de l'inefficacité de la conversion alimentaire chez les animaux d'élevage. En effet, il faut près de 10 kg, 5 kg et 2,5 kg de protéine végétale pour produire 1 kg de protéines de bœuf, de porc et de volaille, respectivement. Les insectes sont beaucoup plus efficaces, avec un ratio aussi faible que 1,7 kg (Van Huis, 2013). Alors qu'on ne consomme pas toutes les parties des animaux d'élevage, l'insecte peut être entièrement consommé, diminuant davantage le ratio protéine végétale : protéine animale (environ 1:1). En alimentant les insectes avec des résidus plutôt que des matières premières, notre production de protéines d'insectes serait nettement plus durable.

Parallèlement, les insectes incorporés aux moulées commerciales pourraient remplacer l'exploitation de farines de poissons provenant de la surpêche, ainsi que les protéines de soya issues des monocultures liées à l'accélération de la déforestation et à divers problèmes de pollution diffuse (FAO, 2006; FAO, 2013). Déjà, des études québécoises démontrent que les moulées à base de larves de mouches ont des niveaux digestibles en protéines et en lipides similaires aux moulées commerciales. Les minéraux, tels que le calcium et le phosphore, seraient plus digestibles que ceux provenant des farines de poissons, ce qui s'avère très utile pour développer des diètes respectueuses de l'environnement (Deschamps *et al.*, 2016).

bien. Les restaurateurs sont les seconds générateurs en importance (32 % du tonnage), mais leurs résidus sont moins accessibles aux entotechnologies, car les 5 000 établissements, où travaillent 60 000 employés, sont surtout en zones densément peuplées. Les troisièmes générateurs en importance sont les épiceries et les marchés de fruits et légumes montréalais, qui produisent près de 35 000 t de MOR par an (15 %

Au Canada, c'est plus de 30 Mt de moulées commerciales qui sont produites annuellement (Association de nutrition animale du Canada,

TABEAU 2

Possibilité de valoriser divers types de déchets organiques pour élever des insectes destinés à l'alimentation humaine ou animale, et principaux défis et bénéfices. (Légende : Rouge – Élément prohibitif; Jaune – Élément potentiellement limitant; Vert – Élément avantageux.)

TYPE DE DÉCHETS ORGANIQUES POUR L'ALIMENTATION DES INSECTES	ÉLEVAGE D'INSECTES DESTINÉS À LA CONSOMMATION		DÉFIS OU BÉNÉFICES													
	Humaine	Animale	Abondance totale (tonnage)	Volume/Concentration par générateur	Collecte	Variations saisonnières	Non récolté au champ	Gisement urbain	Faible coût d'acquisition	Déjà réutilisé (alimentation animale)	Déjà recyclé (compostage ou biométhanisation)	Qualité nutritionnelle	Homogénéité	Contaminants biologiques (pathogènes)	Autres contaminants (corps étrangers, toxiques)	Présence d'emballage
Résidus résidentiels mixtes (alimentaire résidentiel et résidus de jardin)	-	+	●	●	●	●	■	●	●	■	●	●	●	●	●	●
Résidus ICI préconsommation (ex. : résidus de préparation de repas)	+	++	●	●	●	●	■	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Résidus ICI postconsommation (ex. : restes d'assiettes en restaurant)	-	+	●	●	●	●	■	●	●	■	●	●	●	●	●	●
Résidus de mise en marché des aliments (ex. : détaillants, distributeurs, etc.)	++	++	●	●	●	●	■	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Résidus issus de l'agriculture urbaine (ex. : serres, champignonnières, sans les résidus de jardin, etc.)	++	++	●	●	●	●	■	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Produits agricoles hors catégorie selon les normes de l'industrie agroalimentaire (ex. : légumes moches, non standards)	+++	+++	●	●	●	●	■	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Résidus industriels agroalimentaires (ex. : farine, levures, lies, etc.)	+++	+++	●	●	●	●	■	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Résidus d'épuration des eaux usées (ex. : boues municipales)	-	-	●	●	●	●	■	●	●	■	●	●	●	●	●	●
Fumiers et lisiers d'animaux d'élevages (ex. : bovin, porcin)	-	+	●	●	●	●	■	●	●	■	●	●	●	●	●	●

www.anacan.org). Les élevages du Québec totalisent bon an mal an près de 1 200 t de poisson, 170 000 t de volaille, 3 900 t de porc et 1,3 millions de bœuf (Statistique Canada, 2012). Les besoins en protéines alternatives de qualité ne feront qu'augmenter dans les prochaines années. Malgré un coût supérieur (principalement en raison de la marginalité actuelle de ces élevages), les insectes comportent plus d'avantages environnementaux et nutritionnels comparés aux autres aliments alternatifs (coproduits de plantes, d'équarrissage ou autres organismes marins) (NOAA/USDA, 2011).

Production de compost ou frass

Les insectes ne consomment qu'une fraction des intrants organiques (environ 46 % de réduction) (Kalová et Borkovcová, 2013). À l'issue du surcyclage, il reste à gérer des volumes

importants de résidus organiques, d'excréments d'insectes et de mues qu'on appelle *frass*. La qualité agronomique (biodisponibilité accrue des nutriments, composants bénéfiques à la croissance des plantes, stabilité, etc.) (Green et Popa, 2012; Kagata et Ohgushi, 2012) et l'innocuité biologique (survie des pathogènes) (Lomas *et al.*, 2016) de ces résidus restent à démontrer. Mais les avantages connus du compost de crevettes (arthropodes apparentés aux insectes) ou du compost de vers de terre (autres invertébrés) laissent présager des propriétés agronomiques intéressantes au *frass*. De surcroît, même sans génération de chaleur pour assurer l'innocuité du compost (voir *Lignes directrices d'encadrement des activités de compostage du Québec*), les larves de mouches (Lomas *et al.*, 2016) ne permettent pas la survie de bactéries pathogènes,

Entotechnologie

Les insectes au service de l'humain pour la gestion des résidus organiques

telles que *Escherichia coli*, possiblement à cause d'interactions entre les invertébrés, les microorganismes et les conditions physico-chimiques dans le substrat (Hénault-Ethier *et al.*, 2016). Les marchés du compost et du digestat restent encore insuffisamment développés au Québec (RECYC-QUÉBEC, 2013). Les particularités du *frass* issu des entotechnologies pourraient en faire un produit de niche à valeur ajoutée, recherché en horticulture ou en agriculture (enterrafeed.com).

LES PROBLÉMATIQUES À EXPLORER

Risques de biosécurité

Les risques potentiels des moulées « entotechnologiques » sont encore mal caractérisés. Toutes les autorisations de l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) se font au cas par cas, à la demande de l'industrie, sur la base de dossiers démontrant la traçabilité des intrants organiques, l'innocuité chimique et biologique des insectes, ainsi que les qualités nutritionnelles favorables à la croissance des animaux d'élevage (Lähteenmäki-Uutela *et al.*, 2017). En août 2016, l'ACIA a autorisé les larves de mouches soldats noires entières séchées dans l'alimentation des poulets à griller (Enterra Feed Corp, 2016). Ces larves sont élevées sur des résidus organiques commerciaux, de type « préconsommation », dans une usine de traitement avec une capacité de 100 tonnes par jour en Colombie-Britannique.

Impacts environnementaux réels

Entre biométhanisation, compostage et surcyclage, le défi majeur reste et demeure les impacts du transport pour ces activités (Amor, 2016). L'élevage d'insectes dans ou à proximité des grands centres réduirait d'autant l'empreinte écologique du transport des déchets urbains. Des études internationales suggèrent que les insectes permettraient d'abaisser l'empreinte environnementale de notre alimentation (diminution de la pression agricole, de la consommation d'eau et des émissions de GES), mais les bénéfices réels de l'entotechnologie dans la gestion des MO doivent faire l'objet d'une analyse de cycle de vie (ACV). Des études européennes confirment que les ténébrions, grillons et criquets émettent moins de méthane, d'oxyde nitreux, de dioxyde de carbone ou d'ammoniac que les élevages de

bœufs ou de porcs. En intégrant la production et le transport de nourriture, l'énergie pour le chauffage et l'électricité dans une ACV, le potentiel de réchauffement climatique du ténébrion demeure moindre que celui du lait, du porc, du poulet ou du bœuf. Cependant, l'énergie consommée (34 MJ/kg ténébrions) pourrait être plus grande pour ces insectes que pour des animaux à sang chaud. Seule une ACV axée sur des données compatibles avec le contexte québécois (utilisation des résidus organiques, de l'énergie hydroélectrique, des données climatiques, etc.) confirmerait les bénéfices environnementaux des élevages d'insectes envisagés dans les études européennes (Halloran *et al.*, 2016).

Questions économiques

La production d'insectes n'est pas encore optimisée à l'échelle industrielle, et les producteurs occidentaux ont des coûts de production élevés. En outre, il y a aussi une forte demande pour les insectes domestiques entraînant une augmentation des prix (jusqu'à 10 000 \$ US/tonne) (NOAA/USDA, 2011). Les insectes peuvent prendre de l'ampleur dans l'alimentation humaine à cause des *foodies* qui apprécient la bonne nourriture sans compter (ils sont prêts à payer jusqu'à 4 \$ pour une barre protéinée de 50 g ou 100 \$ pour un kilo de poudre protéinée). Mais pour gérer des tonnages importants de MO, il faudra miser sur l'alimentation animale. Dans ce secteur, les économies d'échelle, l'exploitation de gisements abordables de MOR et l'optimisation des procédés par la R et D permettront éventuellement de rendre les moulées d'élevages à base d'insectes plus compétitives.

ÉTAT DE CE SECTEUR AU QUÉBEC ET AILLEURS

Les élevages d'insectes dans la gestion des MOR se heurtent encore à de nombreux problèmes d'acceptabilité. Les appréhensions reposent davantage sur un manque de connaissances des avantages de l'entomophagie et le *yuk factor* que sur des problématiques tangibles de biosécurité. Il reste de nombreux défis techniques et logistiques, biologiques, environnementaux et politiques à relever. Mais 80 % des répondants à notre sondage estiment néanmoins que l'entomophagie est en expansion en Amérique du Nord, et force est de constater que plusieurs industries se préparent à saisir cette occasion

au Québec et ailleurs au Canada (tableau 1, p. 49). Les installations de compostage et de biométhanisation ont bénéficié de subventions de plus de 800 millions de dollars depuis quelques années. Si ces secteurs ont reçu un important soutien financier du gouvernement, pourrait-on espérer un financement équivalent pour les usines de mouches? Ce pourrait être un dernier levier à activer dans une conjoncture plutôt favorable à l'émergence de ce secteur au Québec.

REMERCIEMENTS

Louise Hénault-Ethier remercie RECYC-QUÉBEC pour l'octroi d'une bourse d'études. L'équipe du

docteur Vandenberg est reconnaissante pour le soutien d'Innovation (Projets : *Évaluation de différentes biomasses pour l'élevage pilote de larves de mouches* IA115341, 2015-2017 ; *Optimisation des procédés de transformation des produits de mouches*, 2016-2019), du CRSNG (Projet : *Caractérisation de la digestibilité de produits de mouche domestique chez les poissons d'élevage* (projet ENGAGE EGP 487088)) et du CRIBIQ/RDC-CRSNG (Projet : *Démonstration du potentiel de valorisation des matières organiques résiduelles québécoises par la production en masse de larves de mouches soldats noires*, 2017-2020). ■

RÉFÉRENCES

- Amor, B. (2016). *Gestion des matières résiduelles et prise de décision : analyse critique suivant l'analyse de cycle de vie*. Colloque Innovations en valorisation des matières résiduelles. Sherbrooke, QC, Canada.
- Cabrera, P., L. Hénault-Ethier et B. Lefebvre. (2015). « Des élevages d'insectes comestibles en ville? ». *Bulletin Antennae*, vol. 23, p. 3-6.
- Deschamps, M.-H., J. Larouche, A.N. Tshinyama et G.W. Vandenberg. (2016). *Digestibility study of domestic fly larvae for feeding carnivorous fish*. Insecta. Magdeburg, Germany.
- Dussault, M. (2017). *Étude de faisabilité du déploiement de la production d'insectes destinés à la consommation humaine au Québec*. Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada.
- Enterra Feed Corp. (2016). *New Insect Protein Gains Approval for Use in Animal Feed: Regulatory Approval First of Its Kind in Canada*. Market Wired, Langley, BC.
- FAO. (2006). *Livestock's long shadow*. United Nations, Rome.
- FAO. (2011). *Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention*. United Nations, Rome.
- FAO. (2013). *Edible insects: future prospects for food and feed security*. United Nations, Rome.
- Green, T.R. et R. Popa. (2012). « Enhanced ammonia content in compost leachate processed by black soldier fly larvae ». *Applied biochemistry and biotechnology*, vol. 166, p. 1381-1387.
- Halloran, A., Roos, N., Eilenberg, J., Cerutti, A. et Bruun, S. (2016). « Life cycle assessment of edible insects for food protein: a review ». *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 36, n° 4, p. 57.
- Hénault-E., L., P. Cabrera, B. Lefebvre, S. Taillefer, M.H. Deschamps, M. Dusseault et G. Vandenberg. (2016). *The role of the emerging entotechnology sector to treat urban and rural organic wastes in attaining the 2022 landfilling ban policy of Quebec, Canada*. ICE 2016 XXV International Congress of Entomology. Orlando, Florida, USA.
- Hénault-Ethier, L., P. Cabrera, B. Lefebvre et A. Tchouam-Tchouwo. (2015). *La faisabilité des élevages d'insectes pour la consommation humaine ou animale en milieu urbain*. Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec, Canada, 50 p.
- Hénault-Ethier, L., V.J. Martin et Y. Gélinas. (2016). « Persistence of *Escherichia coli* in batch and continuous vermicomposting systems ». *Waste Management*, vol. 56, p. 88-99.
- Kagata, H. et T. Ohgushi. (2012). « Positive and negative impacts of insect frass quality on soil nitrogen availability and plant growth ». *Population ecology*, vol. 54, p. 75-82.
- Kalová, M. et M. Borkovcová. (2013). « Voracious larvae *Hermetia illucens* and treatment of selected types of biodegradable waste ». *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, vol. 61, n° 1, p. 77-83 (doi : 10.11118/actaun201361010077).
- Lähteenmäki-Uutela, A., N. Grmelová, L. Hénault-Ethier, M.-H. Deschamps, G.W. Vandenberg, A. Zhao, et al. (2017). « Insects as Food and Feed: Laws of the European Union, United States, Canada, Mexico, Australia, and China ». *European Food and Feed Law Review*, vol. 1, p. 22-36.
- Lomas, N.E., S.A. Marshall, M. Habbash et Y. Zheng. (2016). *Musca domestica larvae used in poultry waste bioprocessing: Fate of Escherichia coli and Salmonella spp.* International Congress of Entomology. Orlando, FLA, USA.
- MDELCC. (2013). *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2013 et leur évolution depuis 1990*. Québec, QC, Canada, 24 p.
- NOAA/USDA. (2011). *The Future of Aquafeeds*. NOAA Technical Memorandum NMFS F/SPO-124. National oceanic and atmospheric administration. United States Department of Agriculture, 103 p.
- RECYC-QUÉBEC. (2013). *Bilan 2010-2011 de la gestion des matières résiduelles au Québec*, 24 p.
- RECYC-QUÉBEC. (2014). *Bilan 2012 de la gestion des matières résiduelles au Québec*, 32 p.
- RECYC-QUÉBEC, Éco Entreprises Québec, CRÉ de Mtl, Ville de Montréal et BFI. (2009). *Étude de caractérisation des matières résiduelles du sous-secteur commercial au Québec (2008-2009)*, 32 p.
- Solinov. (2012). *Étude du potentiel des matières organiques en provenance des secteurs industriel, commercial et institutionnel (ICI) à être valorisées dans les centres de traitement de l'agglomération de Montréal*, 99 p.
- Statistique Canada. (2012). *Cattle Statistics (23-012-X), Hog Statistics (23-010-X), Poultry and Egg Statistics (23-015-X), Aquaculture Statistics (23-222-X)*. Gouvernement du Canada.
- Van Huis, A. (2013). « Potential of insects as food and feed in assuring food security ». *Annual Review of Entomology*, vol. 58, p. 563-583.