

# Potentiel agronomique d'un engrais naturel à base de digestats de larves de mouches

Hedi Kebli et Sokrat Sinaj

Agroscope, Systèmes de production Plantes, 1260 Nyon, Suisse

Renseignements: Sokrat Sinaj, e-mail: sokrat.sinaj@agroscope.admin.ch



Cultures de ray-grass et de laitue mises en place lors de l'essai en serre.

## Introduction

Au niveau mondial, la mise en décharge de nourriture représente une perte d'environ 750 milliards de dollars selon la FAO (2013). Ces aliments peuvent être composés ou utilisés dans des installations de transformation des déchets en énergie, ce qui représente toutefois une perte significative d'éléments nutritifs alimentaires.

L'utilisation de larves d'insectes permet de recycler ces nutriments (Pastor *et al.* 2015) et d'éviter ce gaspillage. Après avoir consommé des déchets d'origine végétale, les larves de la mouche *Hermetia illucens* (L.) sont récoltées et transformées en protéines et en huiles par l'entreprise BSF Farms. Ces produits peuvent être ensuite uti-

**Encadré | La mouche soldat noire (*Hermetia illucens* L.)**

La mouche soldat noire est originaire d'Amérique et a été introduite dans les régions tropicales et subtropicales du monde entier. Les mouches adultes atteignent 20 mm de long et sont noires ou bleues. Leur apparence rappelle celle d'une guêpe, pourtant elles sont inoffensives. Elles ne se nourrissent pas durant la phase adulte, car elles s'appuient sur leurs réserves de graisse acquises durant le stade larvaire. Au niveau comportemental, elles ont tendance à rester sur la végétation et à ne pas approcher les humains ou les animaux. Cette mouche peut être facilement élevée à grande échelle, de plus son taux de reproduction est élevé et son cycle de vie court. Ce sont les larves qui présentent le plus d'intérêt pour l'élevage, car leurs utilisations possibles sont nombreuses.

[www.entomeal.ch](http://www.entomeal.ch)

lisés comme nourriture en aquaculture, dans les élevages de volaille ou de bétail ainsi que pour les animaux de compagnie. Ils représentent une alternative économiquement intéressante par rapport aux farines de poissons et tourteaux de soja. Un coproduit formé lors de ce processus est un engrais organique issu du digestat des larves. L'utilisation de ce nouvel engrais ferme le cycle des nutriments et répond ainsi à l'objectif du Conseil fédéral qui est d'utiliser de manière plus efficace les ressources naturelles (OFAG 2011).

Des études précédentes ont évalué la capacité des larves d'insectes à recycler divers déchets en protéines (Čičková *et al.* 2015; Kováčik *et al.* 2014; Pastor *et al.* 2015). Cependant, à notre connaissance, très peu d'études ont évalué l'effet agronomique du digestat coproduit à partir de déchets d'origine végétale. C'est pourquoi, des essais agronomiques sur l'engrais ont été menés au Canada durant trois ans. En termes de croissance et de rendement des plantes, les résultats obtenus étaient prometteurs. Avant d'utiliser ce nouvel engrais dans l'agriculture suisse, il était nécessaire d'évaluer les répercussions agro-environnementales dans le contexte suisse. Cet article apporte une expertise nouvelle sur ces aspects.

**Résumé**

Un engrais a été développé à partir de digestats de larves de la mouche soldat noire (*Hermetia illucens* L.) nourries avec des déchets végétaux. Cet engrais (BSF Farms) est une source importante de matière organique et de macroéléments (N, P, K) ainsi que de microéléments comme le Zn et le Cu. Ses teneurs en éléments traces métalliques (ETM) restent en dessous des seuils maximaux autorisés en Suisse. L'engrais a été testé en serre sur trois types de sol et deux cultures: le ray-grass et la laitue. En ce qui concerne la production de biomasse, l'engrais a donné les meilleurs résultats sur le sol ayant la plus faible fertilité (sol acide et sableux). Sur ce sol, le ray-grass et la laitue ont produit autant de biomasse avec l'engrais BSF Farms qu'avec des engrais minéraux. Cette étude suggère une utilisation prometteuse de cet engrais pour une utilisation en agriculture conventionnelle et/ou biologique.

**Matériel et méthodes****Echantillonnage et analyses de l'engrais et des sols**

L'engrais provient de l'entreprise BSF Farms qui utilise des insectes pour recycler des déchets d'origine végétale en protéines, huiles et engrais. Les propriétés chimiques suivantes de l'engrais ont été mesurées: pH-H<sub>2</sub>O, teneurs en matière organique (MO) par combustion sèche, teneurs totales en éléments (N, P, K, Ca, Mg, Al, Fe, B, Zn, Cu, Ni, Pb, Mo, Cr, Cd) après mise en solution dans les acides fluorhydrique et perchlorique (NF X 31-147, Ciesielski *et al.* 1997), teneurs en éléments disponibles par extraction au bicarbonate de sodium pour le phosphore (P) (Olsen *et al.* 1954) et par extraction au CaCl<sub>2</sub> pour les microéléments (Cu, Zn, Cu, Pb) (NEN 5704, Houba *et al.* 1990). Trois types de sol de pH et de texture contrastés ont été utilisés (tabl. 1). Le premier sol (sol FRIBO) est originaire du réseau FRIBO (46°58'7,43"N; 7°11'53,41"E). Le second (sol P25) provient d'Agroscope – site de Changins (parcelle P25B, 46°23'57,9"N; 6°13'44,8"E). Le dernier sol (sol VEGET) a été prélevé sur une parcelle de production maraîchère dans le canton de Fribourg (46°58'02,4"N; 7°10'39,6"E). Sur ces sols, le pH-H<sub>2</sub>O a été mesuré ainsi que la capacité d'échange cationique (CEC), la texture, les teneurs en MO, et les teneurs totales (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Al, Cu, Zn, Cr, Ni) selon les méthodes citées précédemment.

**Tableau 1 | Propriétés des sols utilisés pour évaluer l'engrais BSF Farms**

	Texture					Teneurs totales										
	pH <sup>a</sup>	argile	sable	CEC <sup>a</sup>	MO <sup>a</sup>	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Al	Cu	Zn	Cr	Ni
	H <sub>2</sub> O	%	%	cmol/kg	g/kg								mg/kg			
FRIBO	5,6	17,5	52,6	5,6	21,2	1,3	0,53	14,5	5,4	3,9	16,2	43,3	10,6	42,7	70,6	25,6
P25	7,4	18,0	38,0	11,0	21,4	1,3	0,80	17,1	6,9	8,0	28,9	56,3	35,8	70,5	123	78,6
VEGET	8,2	20,0	36,2	11,8	27,5	1,4	0,75	19,0	15,9	4,7	16,0	51,1	16,0	58,4	48,8	22,3

<sup>a</sup>pH, MO et CEC sont mesurés selon les méthodes standard suisses (FAL *et al.* 2011).

### Dispositif de l'essai

L'engrais BSF Farms a été testé en serre sur le ray-grass anglais (*Lolium perenne* L) et la laitue (variété *lollo rosso*). Le ray-grass est la composante principale des prairies en Suisse et la laitue est le second légume cultivé en Suisse en termes de superficie. Les sols ont été séchés et tamisés à 5 mm. Chaque pot contenait 1,3 kg de sol sec (sol FRIBO) et 1,5 kg pour les sols P25 et VEGET. La température de la serre a été maintenue entre 18 et 25°C. Chaque semaine, les pots ont été entièrement randomisés pour compenser les différences de température et d'humidité dans la serre. L'humidité des sols a été maintenue avec de l'eau déminéralisée à 70% de la capacité au champ, mesurée à l'aide de tensiomètres. Quatre procédés différents ont été mis en place sur les deux cultures (tabl. 2). L'analyse de l'engrais BSF Farms a montré que l'apport de cet engrais seul ne suffisait pas à couvrir les besoins des cultures selon les recommandations suisses de fertilisation (Sinaj *et al.* 2009). Il a donc été nécessaire de le compléter avec du chlorure de potassium (KCl) dans le procédé 3 et des cendres de bois dans le procédé 4. Ces cendres sont une source de K et représentent une alter-

native naturelle aux engrais minéraux (Kebli *et al.* 2017; Maltas et Sinaj 2011, 2013 et 2014). L'option choisie était donc de recycler également ces cendres de bois en les combinant avec l'engrais BSF Farms.

Tous les procédés sont équivalents en ce qui concerne la fertilisation NPK. Considérant une profondeur d'incorporation des engrais de 10 cm et une densité apparente de 1,4 g/cm<sup>3</sup>, les apports pour le ray-grass ont été de 180 kg/ha N, 60 kg/ha P et 270 kg/ha K. Pour la laitue, les apports étaient respectivement de 125, 40 et 150 kg/ha. Les apports en N et K correspondent aux recommandations de fertilisation pour ces cultures (Sinaj *et al.* 2009). Les apports de P sont par contre excédentaires par rapport aux doses recommandées, car la quantité d'engrais BSF Farms a été calculée de façon à couvrir les besoins en N des cultures. Chaque procédé a été répliqué quatre fois. Les engrais ont été broyés finement et apportés ensemble en une seule fois avant le semis. Après chaque coupe de ray-grass, 50 unités d'azote sous forme de nitrate d'ammonium ont été apportées.

L'essai ray-grass a été réalisé sur une durée de 112 jours, l'essai laitue sur 40 jours. Le ray-grass a été fauché toutes

**Tableau 2 | Description des quatre procédés de fertilisation. Pour chaque élément, la source et la quantité apportée (en kg/ha de N, P et K) sont indiquées.**

Procédés	Fertilisant N	Fertilisant P	Fertilisant K
<b>Essai ray-grass</b>			
1. Contrôle	Aucun	Aucun	Aucun
2. Minéral	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (180)	TSP (60)	KCl (270)
3. BSF Farms (5,5 t/ha) + KCl	BSF Farms (180)	BSF Farms (60)	BSF Farms (165) + KCl (105)
4. BSF Farms (5,5 t/ha) + Cendres	BSF Farms (180)	BSF Farms (60)	BSF Farms (165) + Cendres (105)
<b>Essai laitue</b>			
1. Contrôle	Aucun	Aucun	Aucun
2. Minéral	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (125)	TSP (40)	KCl (150)
3. BSF Farms (3,8 t/ha) + KCl	BSF Farms (125)	BSF Farms (40)	BSF Farms (115) + KCl (35)
4. BSF Farms (3,8 t/ha) + Cendres	BSF Farms (125)	BSF Farms (40)	BSF Farms (115) + Cendres (35)

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>: Nitrate d'ammonium; TSP: Triple SuperPhosphate; KCl: chlorure de potassium; Cendres: cendres de bois

les quatre semaines pour un total de quatre coupes. Après chacune des coupes (ou la récolte finale pour la laitue), la biomasse a été mesurée ainsi que les teneurs totales en éléments: C, N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, Ni, Pb, Cd, Cr, Co selon les méthodes citées précédemment. Après la dernière récolte, la biomasse racinaire a également été mesurée.

### Analyses statistiques

Les effets des procédés et des sols ont été évalués à l'aide d'analyses de variances (ANOVA) avec le logiciel R 3.1.1 (R Development Core Team 2014). Le test de Duncan a été utilisé pour déterminer les différences significatives ( $p < 0,05$ ) entre les procédés.

L'efficacité relative agronomique (ERA) d'un élément a été calculée selon l'équation suivante:

**ERA (%)** = (quantité prélevée par la plante fertilisée avec l'engrais testé – quantité prélevée par la plante dans le procédé contrôle) / (quantité prélevée par la plante dans le procédé minéral – quantité prélevée par la plante dans le procédé contrôle) × 100.

## Résultats et discussion

### Propriétés de l'engrais BSF Farms

Les propriétés de l'engrais BSF Farms sont présentées dans le tableau 3. Cet engrais produit à partir de digestats de larves de la mouche soldat noire est caractérisé par un pH neutre. Il est riche en matière organique et en macroéléments, notamment en N total, P total et K total. Le P apporté est facilement disponible pour les cultures. En effet, 37,4% du P se trouve sous forme disponible (P-Olsen). L'engrais apporte également des quantités importantes de Zn et Cu. Les microéléments et les éléments traces métalliques (ETM) restent en dessous des limites maximales autorisées en Suisse pour l'épandage d'engrais de recyclage sur les terres agricoles (tabl. 3).

### Effets sur la production de biomasse

La biomasse totale aérienne du ray-grass augmente dans tous les procédés fertilisés par rapport au contrôle. Sur les sols FRIBO et VEGET, l'engrais BSF Farms (en combinaison avec les cendres ou avec le KCl) entraîne une production de biomasse sèche du ray-grass équivalente à celle obtenue avec les engrais minéraux (tabl. 4). Sur le sol P25, la production maximale de biomasse est obtenue dans le procédé minéral. Globalement, la biomasse racinaire suit la même tendance que les parties aériennes (données non présentées).

**Tableau 3 |** Caractéristiques chimiques et teneurs totales et disponibles en macroéléments, microéléments et ETM de l'engrais BSF Farms (moyenne de 4 échantillons).

	Engrais BSF Farms		Seuil maximal autorisé en Suisse <sup>1</sup>
	Moyenne	CV (%)	
Matière organique (g/kg MS <sup>2</sup> )	763,0	0,1	
pH-H <sub>2</sub> O	7,5	0,5	
<b>Macroéléments (g/kg MS)</b>			
N-total	35,4	1,4	
P-total	11,5	1,1	
P-disponible	4,3	1,7	
K-total	32,7	2,1	
Ca-total	9,1	6,8	
Mg-total	4,5	1,9	
<b>Microéléments et ETM (mg/kg MS)</b>			
Al-total	2,8	3,0	
Fe-total	3,5	2,3	
B-total	0,03	0,4	
Zn-total	252	40,2	400
Zn-disponible	7,2	0,4	
Cu-total	25,8	5,3	100
Cu-disponible	3,6	7,6	
Ni-total	8,7	8,5	30
Pb-total	1,4	11,7	120
Pb-disponible	7,6 · 10 <sup>-6</sup>	10,8	
Mo-total	2,3	1,4	
Cr-total	13,8	7,6	
Cd-total	0,4	8,9	1
Cd-disponible	0,03	0,6	

<sup>1</sup>Selon l'annexe 2.6, ch. 2.2.1 de l'ORRChim (RS.814.81, 2011); <sup>2</sup>Matière sèche.

**Tableau 4 |** Matière sèche produite par les parties aériennes du ray-grass (g/pot, moyenne des quatre coupes) selon le type de sol. Pour chaque type de sol, des lettres différentes indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ ) selon le test de Duncan. Les probabilités (*p-value*) des effets globaux (ANOVA) des procédés, des effets du sol et de l'interaction sol\*procédé sont également indiquées (\*:  $p < 0,05$ , \*\*\*:  $p < 0,001$ ).

Procédés	Matière sèche des parties aériennes (g/pot)							
	Sol FRIBO		Sol P25		Sol VEGET		Effet sol	Interaction procédé*sol
Contrôle	2,27	b	1,58	d	3,50	b		
Minéral	4,10	a	4,99	a	4,40	a		
BSF Farms + KCl	4,16	a	4,22	b	3,95	ab		
BSF Farms + Cendres	4,12	a	3,60	c	4,15	a		
<i>p-value</i>		***		***		*	*	***

Pour la laitue, l'effet des procédés sur la production de biomasse dépend du type de sol. Sur le sol FRIBO, la production de matière sèche est plus élevée avec l'engrais BSF Farms qu'avec l'engrais minéral, qu'il soit en combinaison avec des cendres ou du KCl (tabl. 5). L'augmentation du pH du sol FRIBO (sol acide) à la suite de l'ajout d'engrais BSF Farms et/ou de cendres explique cette augmentation de biomasse. Sur les deux autres types de sol, la production de biomasse était significativement plus importante en présence d'engrais minéral, probablement en raison d'une meilleure disponibilité des éléments. Globalement, les mêmes tendances ont été observées sur les parties racinaires de la laitue, mais de façon moins marquée (tabl. 5).

### Effet sur les teneurs en éléments

Les concentrations en éléments du ray-grass présentent les mêmes tendances sur les trois types de sol (fig. 1). En présence d'engrais BSF Farms, le ray-grass a des teneurs plus faibles en N, Ca et Mg par rapport aux procédés contrôle et minéral. Comme le suggèrent les résultats de l'ERA (tabl. 6) et les teneurs en N plus élevées dans le procédé minéral, l'azote de l'engrais BSF Farms n'était probablement pas entièrement disponible pour la plante, alors que la dose apportée a été calculée comme si 100% du N apporté était disponible. De plus, les teneurs en N sont plus élevées pour les plantes issues du procédé non fertilisé (contrôle). Ceci est probablement dû à la plus faible biomasse produite dans ce procédé

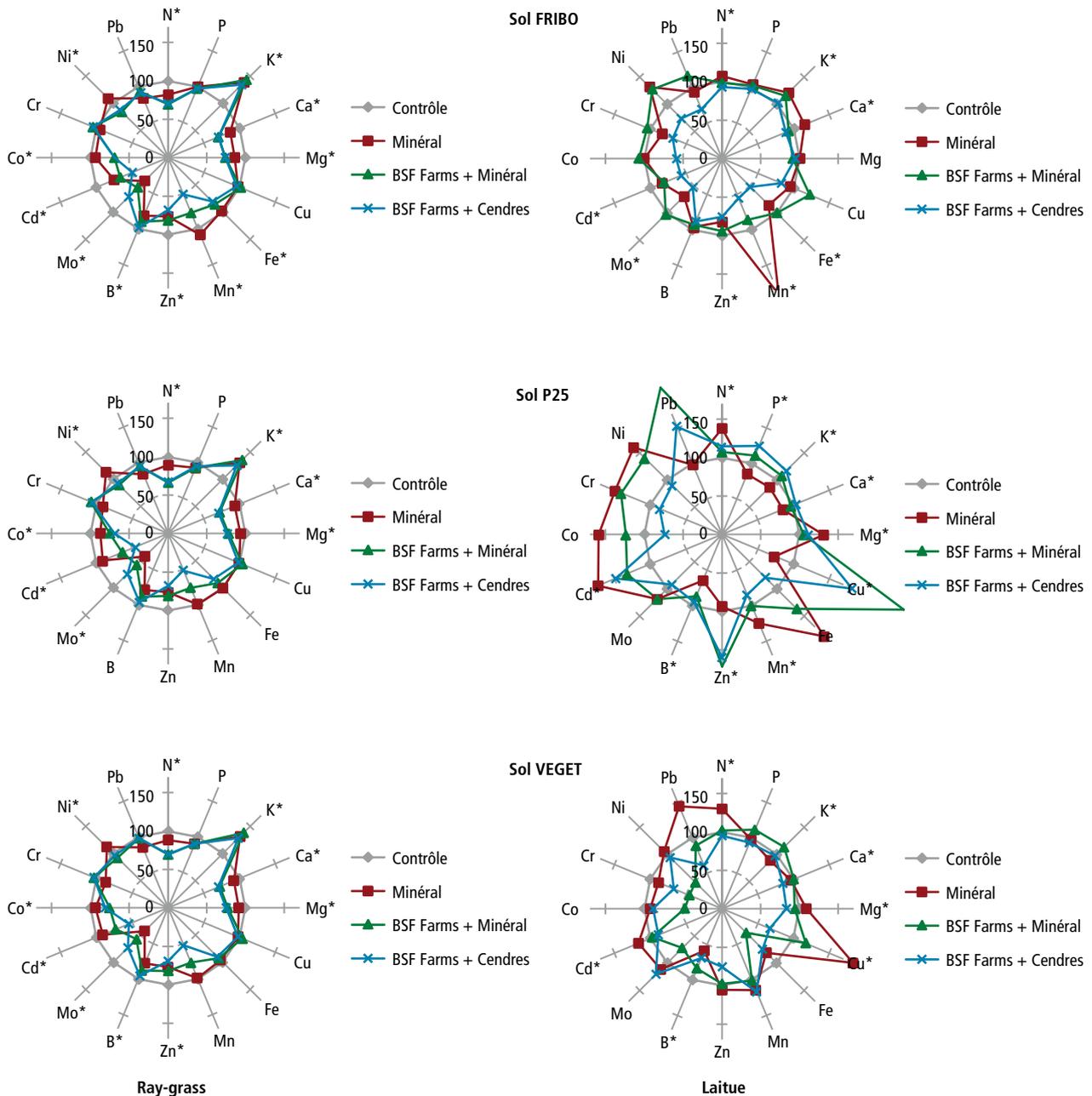
**Tableau 5 |** Matière sèche produite (g/pot) par les parties aériennes et racinaires de la laitue selon le type de sol. Pour chaque type de sol, des lettres différentes indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ ) selon le test de Duncan. Les probabilités ( $p$ -value) des effets globaux (ANOVA) des procédés, des effets du sol et de l'interaction sol\*procédé sont également indiquées (\*:  $p < 0,05$ , \*\*\*:  $p < 0,001$ ).

	Sol FRIBO	Sol P25	Sol VEGET	Effet sol	Interaction procédé*sol
Matière sèche des parties aériennes (g/pot)					
Contrôle	3,31 c	3,07 c	3,96 c		
Minéral	4,61 b	7,07 a	7,11 a		
BSF Farms + KCl	4,90 ab	3,71 b	4,97 b		
BSF Farms + Cendres	5,61 a	3,70 b	5,38 b		
$p$ -value	***	***	***	***	***
Matière sèche des parties racinaires (g/pot)					
Contrôle	0,81 a	1,29 a	1,64 b		
Minéral	1,06 a	2,10 a	3,72 a		
BSF Farms + KCl	2,00 a	1,65 a	2,29 b		
BSF Farms + Cendres	1,93 a	1,58 a	2,38 b		
$p$ -value	0,17	0,28	*	***	*

(effet de concentration). L'effet inverse de dilution observé pour les plantes avec une production de matière sèche plus importante s'explique par une réallocation des nutriments dans les organes en croissance avec une forte activité métabolique (Marschner 2012; White *et al.* 2012). Les teneurs élevées en K dans les trois procédés fertilisés reflètent la consommation de luxe du ray-grass vis-à-vis de cet élément. Les teneurs plus faibles en Ca et Mg seraient alors dues à un antagonisme entre le K et le Ca/Mg (Marschner 2012). Concernant les teneurs en P, aucune différence entre les procédés n'est observée.

En ce qui concerne les microéléments, les plantes fertilisées ont généralement des teneurs plus faibles que les plantes non fertilisées, probablement en raison de l'effet de dilution (voir précédemment). A noter que les teneurs en B sont plus élevées en présence de cendres qu'en présence d'engrais minéraux. Ceci est directement relié à l'apport de B par les cendres (Maltas et Sinaj 2011, 2013 et 2014). Les teneurs en Mn diminuent dans les procédés avec l'engrais BSF Farms, et de façon plus marquée lorsque les cendres sont associées à cet engrais. Les cendres ont probablement augmenté le pH du sol à cause de leurs teneurs élevées en Ca et Mg, ce qui a pour conséquence de diminuer la disponibilité du Mn (Marschner 2012). On a également noté une tendance de l'engrais BSF Farms à diminuer les teneurs en Ni, Zn, Cd par rapport au procédé minéral. Les concentrations en ETM dans l'engrais BSF Farms sont en dessous des seuils autorisés (tabl. 3) et l'engrais BSF Farms semble réduire leur absorption par le ray-grass.

Pour la laitue, l'effet des procédés varie fortement selon le type de sol et l'élément concerné (fig. 1). Concernant les macroéléments, les tendances relativement proches observées pour les sols P25 et VEGET se distinguent quelque peu de celles obtenues avec le sol FRIBO, reflétant les différences de propriétés des sols: le sol FRIBO est acide, sableux et faiblement pourvu en éléments (tabl. 1). Sur le sol FRIBO, la teneur en P des parties aériennes de la laitue n'est pas affectée par le procédé. Globalement, la laitue du procédé minéral présente des teneurs en macroéléments (N, K, Ca, Mg) plus élevées, à cause de la meilleure disponibilité de ces éléments dans les engrais minéraux. Ces différences de teneurs n'ont pas eu d'effet sur la production de biomasse (tabl. 5) indiquant une consommation de luxe par la laitue sur le sol FRIBO. Sur les sols P25 et VEGET, le procédé minéral entraîne une diminution des teneurs en P, K et Ca par rapport aux autres procédés, probablement en raison d'un effet de dilution. En effet, la biomasse produite dans le procédé minéral (sol P25) était deux fois plus importante que dans le contrôle (tabl. 5).



**Figure 1** | Teneurs en éléments des parties aériennes du ray-grass (à gauche) et de la laitue (à droite). Les résultats sont exprimés en valeur relative par rapport au procédé contrôle. Les astérisques indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ ) entre les procédés.

Les teneurs en microéléments sur le sol FRIBO sont plus faibles lorsque la laitue s'est développée en présence de cendres associées à l'engrais BSF Farms (fig. 1). Cette absorption réduite est due au fait que les microéléments dans ce procédé sont moins disponibles en raison de l'augmentation de pH du sol consécutive à l'ajout de cendres (Demeyer *et al.* 2001). Les teneurs en Mn sont significativement plus élevées dans le procédé minéral. D'autres auteurs ont également observé une augmenta-

tion des teneurs en Mn avec une fertilisation minérale (Hemingway 1962). Globalement, sur le sol P25, les procédés avec l'engrais BSF Farms présentent des teneurs en microéléments similaires ou supérieures par rapport au contrôle. Les teneurs réduites en Cu et Zn dans le procédé minéral par rapport aux procédés avec l'engrais BSF Farms sont probablement liées aux quantités apportées par l'engrais à BSF Farms (tabl. 3). Sur le sol VEGET, les teneurs en Cu sont significativement supérieures dans

**Tableau 6 | Efficacité relative agronomique (ERA) de l'engrais BSF Farms combiné avec le KCl ou les cendres pour les cultures de ray-grass et de laitue sur les trois types de sol.**

Sols	FRIBO		P25		VEGET	
	BSF Farms + KCl	BSF Farms + Cendres	BSF Farms + KCl	BSF Farms + Cendres	BSF Farms + KCl	BSF Farms + Cendres
<b>Ray-grass</b>						
N	41,9%	60,8%	31,0%	31,5%	22,8%	25,3%
P	92,9%	80,3%	70,9%	81,2%	73,8%	89,2%
K	104,2%	93,2%	79,5%	69,5%	76,1%	69,4%
<b>Laitue</b>						
N	360,8%	308,2%	29,2%	33,9%	22,3%	20,2%
P	540,0%	464,3%	70,1%	99,6%	46,4%	35,4%
K	331,1%	251,8%	64,2%	78,5%	20,1%	43,8%

le procédé minéral (fig. 1). Ce sol possède la plus forte teneur en matière organique (tabl. 1) et l'apport de fertilisation organique peut augmenter le phénomène de liaison entre le Cu et la matière organique (Marschner 2012).

#### Efficacité relative agronomique (ERA)

L'ERA est exprimée en pourcentage par rapport à l'engrais de référence, c'est-à-dire ceux du procédé minéral. Sur les sols P25 et VEGET, l'efficacité de l'engrais BSF Farms est moindre que celle des engrais minéraux, en particulier pour l'azote (tabl. 6). Cependant, sur le sol FRIBO et pour la laitue, l'ERA de l'engrais BSF Farms est 2,5 à 5,4 fois plus élevée selon l'élément concerné. L'augmentation du pH du sol FRIBO (sol acide) à la suite de l'application des engrais BSF Farms a probablement amélioré la disponibilité des éléments apportés par l'engrais.

## Conclusions

L'engrais BSF Farms produit à partir du digestats de larves de la mouche soldat noire est un engrais organique équilibré en N et K total qui apporte également du P sous forme disponible. Durant cette étude sur ray-grass et laitue, nous n'avons pas observé de toxicité de cet engrais. Par rapport au procédé non fertilisé (contrôle),

l'engrais BSF Farms a permis d'augmenter la production de biomasse en conditions contrôlées. Cet engrais est particulièrement intéressant sur un sol peu fertile (acide et sableux) et dans une moindre mesure sur un sol à forte teneur en matière organique. Sur ces sols, la production de biomasse était équivalente à celle obtenue avec les engrais minéraux classiquement utilisés. Pour la culture de la laitue sur sol acide, l'utilisation de cet engrais est également particulièrement pertinente lorsqu'il est associé aux cendres de bois. Dans ce cas, la production de biomasse a même dépassé celle obtenue avec des engrais minéraux classiques. Ces résultats suggèrent un potentiel prometteur de l'engrais testé comme alternative aux engrais minéraux, en particulier s'il est associé avec des cendres de bois. D'autres recherches sont cependant nécessaires pour évaluer les effets au champ de cet engrais. ■

#### Remerciements

Les auteurs remercient l'entreprise BSF Farms à Genève pour le financement de cette étude et Saïd Elfouki pour l'aide technique et le travail accompli.

**Riassunto**

**Potenziale agronomico di un concime naturale a base di digestati di larve di mosche**

È stato sviluppato un concime composto da digestati di larve della mosca soldato nera (*Hermetia illucens* L.) alimentate con resti vegetali. Questo concime (BSF Farms) è una fonte importante di materia organica e di macro elementi (N, P, K), così come di microelementi quali lo Zn e il Cu. I suoi tenori in metalli pesanti restano sotto la soglia massima autorizzata in Svizzera. Il concime è stato testato in serra in tre tipi di suolo e due colture: il loglio e la lattuga. Per quanto concerne la produzione di biomassa, il concime ha dato i migliori risultati sul suolo con una fertilità più ridotta (suolo acido e sabbioso). In questo suolo, il loglio e la lattuga hanno prodotto la stessa quantità di biomassa con il concime BSF Farms rispetto ai concimi minerali. Lo studio suggerisce un uso promettente di questo concime per l'uso nell'agricoltura convenzionale e/o biologica.

**Summary**

**Agronomic potential of a natural fertiliser based on fly larvae frass**

A fertiliser has been developed from the digestates (frass) of the larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) when fed on plant waste. Produced by BSF Farms, this fertiliser is a rich source of organic matter and macroelements (N, P, K), as well as microelements such as Zn and Cu. Its trace-metal element (TME) content remains below the maximum permitted thresholds in Switzerland. The fertiliser has been tested in a greenhouse on three types of soil and two crops, ryegrass and lettuce. In terms of biomass production, the fertiliser produced the best results on the least fertile soil (acid and sandy soil). On this soil, the ryegrass and lettuce produced as much biomass with the BSF Farms fertiliser as with mineral fertilisers. This study suggests that the use of this fertiliser would be a promising strategy in conventional and/or organic farming.

**Key words:** natural fertilizer, organic waste recycling, organic farming.

#### Bibliographie

- Ciesielski H., Proix N. & Sterckeman T., 1997. Détermination des incertitudes liées à une méthode de mise en solution des sols et sédiments par étude inter-laboratoire. *Analisis* 25, 188–192.
- Čičková H, Newton G.L., Lacy R.C. & Kozánek M., 2015. The use of fly larvae for organic waste treatment. *Waste Management* 35, 68–80.
- Demeyer A., Voundi Nkana J. C. & Verloo M. G., 2001. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. *Biore-source Technology* 77, 287–295.
- FAL, RAC & FAW. 2011. Méthodes de référence des stations de recherche Agroscope, vol. 1. Agroscope.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2013. Food wastage footprint-Impacts on natural resources: summary report. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Hemingway R., 1962. Copper, molybdenum, manganese and iron contents of herbage as influenced by fertilizer treatments over a three-year period. *Grass and Forage Science* 17, 182–187.
- Houba V., Novozamsky I., Lexmond T. M. & Van der Lee J., 1990. Applicability of 0.01 M CaCl<sub>2</sub> as a single extraction solution for the assessment of the nutrient status of soils and other diagnostic purposes. *Communications in Soil Science & Plant Analysis* 21, 2281–2290.
- Kebli H., Maltas A. & Sinaj S. 2017. Potentiel agronomique des cendres issues de bois recyclé. *Recherche Agronomique Suisse* 8 (1), 30–37.
- Kováčik P., Kozánek M., Takáč P., Galliková M. & Varga L., 2014. The effect of pig manure fermented by larvae of house flies on the yield parameters of sunflowers (*Helianthus annuus* L.). *Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis* 58, 147–154.
- Maltas A. & Sinaj S., 2011. Intérêts agronomiques des cendres humides de la centrale Enerbois. Agroscope. 26 p.
- Maltas A. & Sinaj S., 2013. Effets des cendres de bois de la centrale Enerbois sur les propriétés du sol, le rendement des cultures et la qualité des récoltes. Agroscope. 63 p.
- Maltas A. & S. Sinaj., 2014. Les cendres de bois: un nouvel engrais pour l'agriculture suisse. *Recherche Agronomique Suisse* 5 (6), 232–239.
- Marschner M., 2012. Mineral nutrition of higher plant, third edition, 889 p.
- OFAG, 2011. Consultation sur la politique agricole 2014-2017. Document de presse. 23 mars 2011. 10p.
- Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS & Dean LA., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circular* 939, 1–19.
- Pastor B., Velasquez Y., Gobbi P. & Rojo S., 2015. Conversion of organic wastes into fly larval biomass: bottlenecks and challenges. *Journal of Insects as Food and Feed* 1, 179–193.
- Sinaj S., Richner W., Flisch R., & Charles R., 2009. Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages (DBF–GCH). *Revue suisse d'Agriculture* 41 (1), 1–98.
- White P.J., 2012. Long-distance transport in the xylem and phloem. In: Marschner's mineral nutrition of higher plants, 3<sup>rd</sup> edn Academic, London, 49–70.