



UNIVERSITÉ
CAEN
NORMANDIE



Avec
la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
développement
agricole et rural
CASDAR
Liberté
Égalité
Fraternité
MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE

Université de Caen Normandie
UFR des Sciences - Département Biologie Sciences Terre

Mention AETPF Agrosiences, Environnement, Territoires, Paysage, Forêt
Master ECOCAEN 2^{ème} année « Gestion et valorisation agri-environnementales »

Mémoire bibliographique L'utilisation des microorganismes efficaces (EM) en agriculture

Sujet proposé par Gabriele Fortino pour la
Chambre d'Agriculture de Normandie



Marine LESAGE

Référent universitaire : Emmanuelle PERSONENI

Année universitaire 2024-2025

Remerciements

Je remercie tout particulièrement M. Gabriele Fortino de la Chambre d'Agriculture de Normandie pour la proposition de ce sujet, son partage de connaissances, et nos échanges enrichissants.

Je souhaite également remercier Mme. Emmanuelle Personeni pour son encadrement, ses conseils et ses relectures assidues.

Sommaire

Introduction.....	2
1.Les microorganismes efficaces (EM)	4
1.1.Historique	4
1.2.Techniques de production et d'application.....	6
2.Effets de l'utilisation des EM sur les propriétés du sol	10
3.Applications des EM sur les cultures	12
3.1.Généralités sur les interactions entre microorganismes et croissance des plantes.....	12
3.2.Mesures sur le rendement.....	12
3.3.Effets des EM sur la physiologie des plantes (Cas d'une culture de maïs)	18
4.État des population fongiques et effets fongicides.....	22
5.Conclusion sur la partie sol et cultures	24
6.Applications des EM en élevage	26
6.1.Poulets de chair.....	26
6.2.Alimentation des veaux.....	28
6.3.Alimentation des chevreaux	28
6.4.Conclusion pour l'élevage	28
7.Conclusion générale	30
Références bibliographiques.....	32

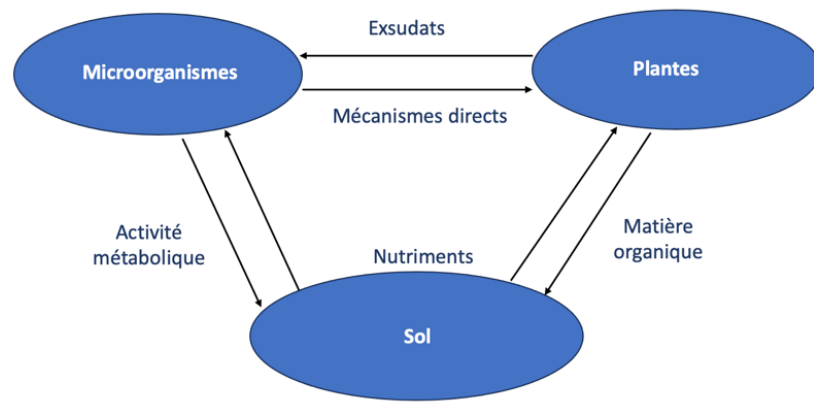


Figure 1 : Interactions entre les microorganismes, le sol et les plantes (Jacoby *et al.*, 2017).



Figure 2 : Diverses domaines d'applications des microorganismes efficaces [emrojapan].

Introduction

Au cours des dernières décennies, l'évolution des technologies agricoles a permis de doubler la production céréalière et a, jusqu'à présent, largement satisfait les besoins de consommation de ceux qui ont accès aux réseaux de distribution alimentaire et aux ressources économiques suffisantes (Tilman *et al.*, 2002). Cependant, l'intensification des systèmes agricoles a un impact évident sur les agrosystèmes eux-mêmes avec une dégradation accrue de la qualité des sols (Stoate *et al.*, 2001) mais aussi sur les écosystèmes avec l'eutrophisation des cours d'eau en aval (Vitousek *et al.*, 1997), une perte de biodiversité (Green *et al.*, 2005) et une forte exposition des ouvriers agricoles aux pesticides cancérogènes (Gevao *et al.*, 2000).

La prise de conscience de l'impact de l'agriculture conventionnelle sur les milieux naturels et l'Homme ainsi que des enjeux agro-environnementaux complexes poussent les agriculteurs à repenser leurs systèmes de manière à maintenir une production agricole tout en préservant les services et ressources écosystémiques. En conséquence, un nombre croissant d'agriculteurs mettent en œuvre des techniques d'agriculture dite durable (Megali *et al.*, 2015). Parmi celles-ci, de nombreuses alternatives biologiques émergent au sein du monde agricole, que ce soit pour la fertilisation ou le contrôle des maladies et ravageurs.

Diverses alternatives sont disponibles, comme les extraits fermentés qui sont des préparations naturelles obtenues par fermentation de matières végétales dans de l'eau. Ces extraits sont riches en enzymes, phytohormones, acides organiques, métabolites secondaires, vitamines et oligo-éléments. Les effets bénéfiques sur la croissance et la protection des cultures et sur leur protection sont prouvés par de nombreuses études et témoignages d'agriculteurs. Ils sont largement utilisés mais difficiles à mettre en place sur de grandes surfaces, la préparation étant assez longue et les bénéfices non nettement identifiables [Confédération paysanne]. Dans la même vague, depuis une vingtaine d'années, l'utilisation des Microorganismes Efficaces ou Efficient Microorganisms (EM) a été développée en agriculture [emrojan]. Ceux-ci visent à accélérer la décomposition de la matière organique et à favoriser l'équilibre de la flore microbienne du sol contribuant ainsi au développement des plantes (fig.1). Les EM sont des substituts potentiels aux intrants chimiques, ils peuvent être collectés de différentes manières, dans les sols ou via des résidus d'élevage et de cultures grâce à des méthodologies simples et peu coûteuses, ou grâce à des solutions commerciales. Différentes applications sont possibles, les principales étant pour l'amélioration des propriétés physiques et biologiques des sols, le rendement des cultures, la santé des plantes, la qualité de l'eau ou encore la production et le bien-être animal (fig.2). L'utilisation des EM est une technique accessible, peu coûteuse, et peut donc contribuer à la durabilité des systèmes agricoles (Avila *et al.*, 2021).



Figure 3 : Le Professeur Teruo Higa a développé la technologie EM à partir de plusieurs essais et mélanges de microorganismes.



Figure 4 : Solution commerciale EM.1 [emrojan].

1. Les microorganismes efficaces (EM)

1.1. Historique

Les EM (Effective Microorganism), représentent une marque déposée par la compagnie japonaise EMRO, vendue à travers le monde et prônant des produits sains pour l'humain et l'environnement, réalisant des synergies positives en combinant des microorganismes indigènes tels que les bactéries lactiques, les levures et les bactéries phototrophes. Cette technologie a été développée par le Professeur Teruo Higa (fig.3) dès 1982, l'objectif étant de stimuler les microorganismes du sol et de l'eau afin d'optimiser leur efficacité. Aujourd'hui, la technologie s'est exportée dans le monde et de nombreux distributeurs vendent les produits sous la certification EM en Europe et dans le monde. L'utilisation de ces EM concerne l'agriculture (culture et élevage), la purification de l'air et de l'eau, la gestion des déchets ou encore la santé humaine de manière globale [emrojapan].

La commercialisation des EM se fait sous la forme d'une solution mère avec des activateurs. Dans le contexte agricole, la fermentation et la multiplication des EM peuvent se faire sur l'exploitation.

La technologie EM se compose de cultures mixtes de micro-organismes bénéfiques et naturellement présents dans l'environnement qui peuvent être utilisés comme inoculants pour augmenter la diversité microbienne des sols et des plantes ou encore pour la santé et le bien-être animal. Les espèces sélectionnées sont majoritairement des populations de bactéries lactiques et de levures, et en plus petit nombre des bactéries photosynthétiques, ou encore des actinomycètes. Toutes ces espèces sont mutuellement compatibles et peuvent coexister en culture liquide (Higa & Parr, 1994).

Dans le cadre d'une première approche les micro-organismes bénéfiques peuvent constituer une dimension supplémentaire aux pratiques agricoles déjà présentes sur l'exploitation. L'objectif étant d'optimiser les pratiques culturales, telles que la rotation, les amendements organiques, le travail de conservation du sol, le recyclage des résidus de culture et la lutte biologique contre les ravageurs. Utilisés de manière optimale, les micro-organismes bénéfiques peuvent considérablement améliorer les effets bénéfiques de ces pratiques agricoles (Higa & Wididana, 1991).

Parmi les solutions commercialisées par la marque EMRO, on retrouve le EM.1 (fig.4), il est le produit fondamental de la marque, la solution originale formulée par le chercheur Teruo Higa dans les années 80. Il se présente sous forme liquide et contient différents groupes de micro-organismes. Ce mélange de micro-organismes et les métabolites qu'il contient sont capables d'activer les micro-organismes natifs dans divers environnements et conditions et dans de nombreux domaines différents notamment en agriculture.

Tableau I : Ingrédients utilisés pour la fabrication de microorganismes efficaces (Desfontaines *et al.*, 2018).

Ingrédients	Fonctions	Exemples
Source de microorganismes	Apport de champignons, bactéries	Litière forestière
	Apport d'enzymes, bactéries lactiques	Lait entier de vache
Source de glucides	Apport de carbone pour la croissance des microorganismes	Farine de riz, de maïs
		Mélasse de canne à sucre
Eau	Dilution	
Extraits végétaux	Apports de vitamines, acides organiques, métabolites secondaires	Résidus de fauche, compost



Figure 5 : Technique du strip-till visant à travailler uniquement les futurs rangs de semis [agriculture de conservation].

La solution EM.1 est stable afin de garantir un contrôle de qualité et de permettre un stockage à long terme. Cette solution avec l'ajout de mélasse comme aliment pour les microorganismes permet l'activation et la multiplication de ceux-ci, ce qui donne « EM.1 étendu » ou « EM.1 activé ». La solution EM.1 ne peut être étendue qu'une seule fois afin de maintenir l'équilibre des microbes, en revanche la solution EM.1 activée peut être étendue environ 20 fois par rapport au volume initial et être utilisée de nombreuses façons différentes. Cela dépend de l'équipement disponible, du stade de la culture, de la préparation du sol et des objectifs. Un autre produit commercialisé se nomme Bokashi, il correspond à une forme solide d'EM et est issu de la fermentation de son de riz ou de son de blé avec l'EM.1, il fonctionne comme engrais, aliment et matériau de base pour la fermentation. Il est important de noter que les mélanges peuvent varier dans chaque région en fonction des espèces de microorganismes disponibles et des conditions dans lesquelles la fermentation doit avoir lieu, comme le climat. Afin d'orienter les utilisateurs, des distributeurs locaux de la marque EMRO sont présents dans le monde entier. À titre indicatif, EM.1 est actuellement fabriqué dans plus de 50 pays sous la supervision directe d'EMRO au Japon [emrojapan].

1.2. Techniques de production et d'application

Les techniques de production des EM sont variées tout comme les différentes applications. Les sources de microorganismes peuvent être commerciales ou artisanales, dans tous les cas, une source de glucides est nécessaire à la croissance et au développement des microorganismes, enfin, l'eau est toujours utilisée pour diluer les solutions. Il est possible d'ajouter des extraits végétaux pour leur apport de nutriments supplémentaires (Tableau I). Une des recommandations principales est l'utilisation d'eau non chlorée car celui-ci tue les microorganismes, si l'eau est chlorée, il est nécessaire de la placer dans un récipient non bouché la veille de la préparation et d'attendre 24 heures avant d'ajouter les EM (Andrade *et al.*, 2020).

Selon Claire Boisieux, agricultrice et commerciale en EM, qui élabore et vend des EM sur son exploitation : les cuves de multiplication doivent être remplies au maximum afin de limiter la présence d'oxygène et favoriser les microorganismes anaérobies, de même lors de l'épandage, il faut éviter le plus possible le contact avec l'air. Le matériel utilisé peut prendre la forme de cuves à engrais localisé, située à l'avant du tracteur. En termes de techniques culturales, un mulchage ou une pluie sitôt l'épandage suffisent à enfouir superficiellement la solution à base d'EM et à limiter les pertes. Elle a également testé l'application d'EM avec la technique du strip-till (fig.5) pour la culture de betteraves. Les EM ont été appliqués de manière localisée, en automne, au premier travail de sol, ceux-ci ont été enfouis à 20 cm. Les résultats étaient satisfaisants [TEMA Agriculture et terroirs].

Tableau II : Préconisation des doses d'EM à appliquer en pulvérisation foliaire (Félix, 2015).

	EM (L/ha)	Dilution	Fréquence (en jours)
Maraîchage	20	2 à 10 %	4 à 15
Grandes cultures	20	1 à 5 %	15 à 60
Fruitiers	20	2 à 10 %	30 à 60

Tableau III : Exemples de préparations de la solution EM activée à partir de solutions mère EM.1 commerciales.

Préparation	Mélange	Conditions d'incubation	Durée d'incubation	Utilisations
EM activée	1L de solution EM.1 + 1 kg de mélasse de canne à sucre + 18L (dilution : 10, 20 ou 50mL/Ld'eau)	35°C pH 3,5 à 4	4 à 5 j	Pulvérisation de cultures ou sol
	EM.1 + eau + mélasse voire extraits fermentés d'orties	30 à 35°C Conservation autour de 12°C.	10 à 15 j	Pulvérisation cultures (100 à 300L/ha)

Tableau IV : Exemples de préparations artisanales de la solution mère EM.1.

Préparation	Mélange	Dilution	Conditions d'incubation	Durée d'incubation	Utilisations
Solution mère EM.1	100mL d'eau de riz + 1L de lait ou lactosérum + 30mL de mélasse de canne à sucre	30L de EM-activé pour 1L de solution mère	Bouteille bouchée mais pas hermétique A l'abri de la lumière	14 j	Pulvérisation compost et fumier
	Intestin de bétail + résidus végétaux + fumier + 7 L de mélasse + 100L d'eau	1L de solution mère dans 20L d'eau	Aération Mélange une fois/semaine	3 mois	Pulvérisation cultures, sols
	25 kg de litière forestière + 6L de lait + 10 kg de mélasse + 60 kg de son de maïs + 30L d'eau	1 kg de ce mélange dans 20L d'eau. Puis 1L dans 16L d'eau.	Contenant hermétique	21 j	Pulvérisations cultures, sols

Lors de la préparation des sols, une aspersion de 100L/ha d'EM activé [EM e.V.], au moins 15 à 20 jours avant le semis, permet d'ensemencer le sol en microorganismes et accélère la décomposition des résidus de récolte. L'efficacité est assurée avec une température du sol supérieure à 8°C, et un repos de celui-ci pendant une semaine. Il est possible d'appliquer les EM sur le substrat du semis ou en inoculant les semences dans une solution d'EM activé diluée à 2 %. La durée de trempage varie selon le type de semences : 15 minutes pour les boutures et rhizomes, 30 minutes pour les graines tendres, 1 à 2 heures pour les grains durs. Avec un semoir équipé d'un dispositif d'engrais liquide, la solution peut être appliquée sous le pied de la plante. Chaque grain de semence est ainsi entouré de microorganismes favorisant la croissance et limitant le développement des maladies [Triple Performance].

En ce qui concerne la pulvérisation foliaire, une étude préconise une application après la germination ou dans les cultures établies et chaque semaine jusqu'à ce que la structure du sol ou que la santé des plantes s'améliore, puis il est conseillé de reproduire des pulvérisations bimensuelles. L'année où l'utilisation des EM débute, le nombre d'applications est plus élevé. Ensuite, si les conditions de croissance des plantes sont satisfaisantes, année après année, la fréquence peut diminuer. Les conditions idéales d'application sont le matin ou après une pluie pour une absorption optimale (Yuan *et al.*, 2011). De plus, selon le type de cultures et l'état de celles-ci les doses, dilutions et fréquences de traitements sont différentes (Tableau II).

À partir des solutions mères commerciales, différents mélanges sont possibles, globalement les ingrédients sont toujours les mêmes, en revanche la durée d'incubation peut varier (Tableau III). Au-delà des solutions commerciales, des préparations artisanales sont réalisées à partir de différentes sources de microorganismes (Tableau IV). Des éléments essentiels sont retrouvés dans les différentes préparations : l'eau et la mélasse (celle-ci peut être dissoute dans l'eau chaude avant insertion dans la préparation). Ces mélanges varient selon les ressources locales et les préparations artisanales sont plutôt vouées à être utilisées sur de petites surfaces exploitées [PCAC].

Tableau V : Effets des EM sur les propriétés physiques du sol (Higa & Wididana, 1991).

Traitement	Profondeur de culture (cm)	Dureté du sol (kg.cm ⁻²)	Porosité (%)	Densité apparente (g.cm ⁻²)	Agrégation (%)
O	23.7c**	2.75a	52.9c	1.17ab	70.1
OF	23.9c	1.87bcd	52.7c	1.17a	67.4
EM2	28.5b	1.63e	53.7b	1.17a	71.7
EM3	28.3b	1.74e	53.7b	1.16a	73.2
EM4	32.1b	1.58e	58.7a	1.08b	71.7
EM2.3	27.0b	1.91bcd	56.8ab	1.16a	71.4
EM2.4	29.9b	2.40ab	55.7ab	1.11ab	72.0
EM3.4	30.1b	2.20abc	54.8ab	1.13ab	71.9
EM2.3.4	32.3a	1.77de	52.2ab	1.16a	71.0

Annexe au tableau V : Détails des différents traitements de l'étude (Higa & Wididana, 1991).

Traitement	Composition
O	Contrôle non fertilisé et sans EM
OF	Contrôle fertilisé (NPK) sans EM
EM2	Mélange de plus de 10 genres et 80 espèces de microorganismes cultivés à pH neutre
EM3	95% de bactéries photosynthétiques
EM4	90% de lactobacillus et autres bactéries lactiques, cultivées à pH acide

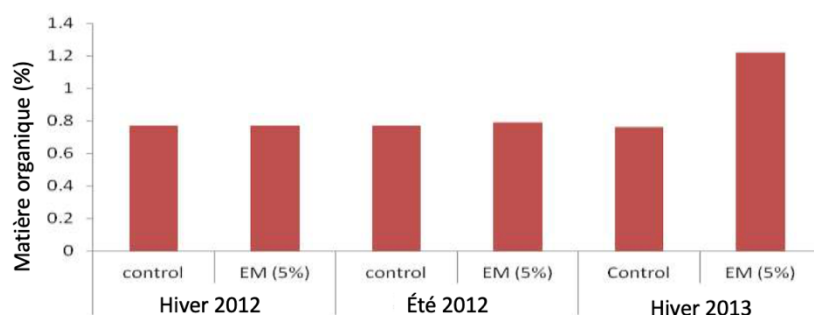


Figure 6 : Effets de l'ajout d'EM sur le pourcentage de matière organique du sol au bout d'un an (Raghad *et al.*, 2017).

EM 5% : ajouté en application foliaire avant floraison

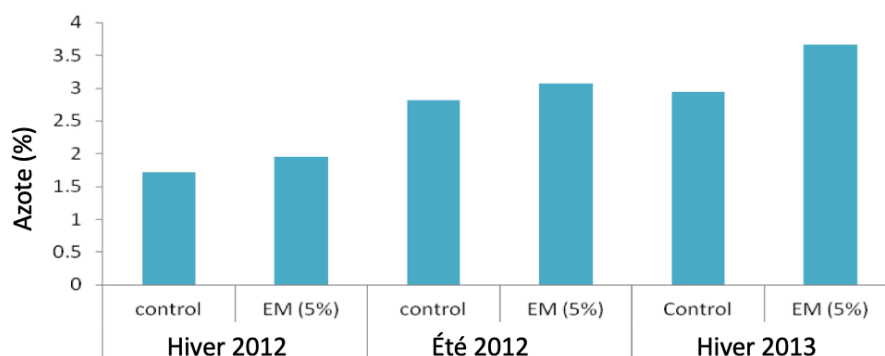


Figure 7 : Effets de l'ajout d'EM sur le pourcentage d'azote du sol au bout d'un an (Raghad *et al.*, 2017).

2.Effets de l'utilisation des EM sur les propriétés du sol

Selon diverses études, les EM permettent la restauration du microbiote du sol. En effet, plus la quantité et la diversité microbienne du sol sont importantes, plus la santé des végétaux qui y poussent est favorisée, la diversité végétale peut alors s'installer dans le cas d'une prairie par exemple. Dans ce processus de boucle de rétroaction, la diversité végétale implique la diversité des microorganismes dans le sol. De plus, la décomposition de la matière organique, la minéralisation et donc la disponibilité des nutriments pour les plantes sont favorisées.

Les EM aident à rétablir les conditions physico-chimiques et microbiologiques du sol et favorisent la croissance et le développement des végétaux facilitant la gestion et la couverture du sol. L'augmentation de l'agrégation, de la porosité du sol, de l'infiltration de l'eau, de l'eau disponible dans le sol et de la profondeur d'enracinement entraînent en conséquence, une réduction de l'érosion et de la fréquence d'irrigation. Le sol retient plus d'eau, ce qui implique une amélioration de la résistance des cultures au stress hydrique en période de sécheresse ou sur des sols sableux. Cet effet positif est dû en grande partie à l'augmentation de la matière organique du sol grâce à l'activité microbienne (Avila *et al.*, 2021).

L'effet des EM sur les propriétés physiques démontre que le sol traité avec des EM devient plus friable et poreux, moins compact et favorise donc un enracinement plus profond. La dureté du sol est la plus importante pour le traitement non fertilisé. Les micro-organismes, en particulier les champignons, peuvent lier les particules du sol en agrégats plus stables (Tableau V). Les bactéries peuvent synthétiser des agents de cimentation sous forme de gommes et de polysaccharides qui aident également à favoriser une bonne agrégation (Higa & Wididana, 1991).

De plus, les figures 6 et 7 mettent en évidence que l'ajout d'EM sur des cultures d'orge, maïs et blettes permettent une augmentation de la matière organique et de la teneur en azote du sol au bout d'un an (Raghad *et al.*, 2017).

Sur le long terme, l'utilisation des EM peut permettre le ré-équilibre du sol en termes de nutrition et donc la réduction des applications d'engrais chimiques. Une autre voie d'utilisation concerne la biorestauration des sols contaminés en neutralisant les métaux lourds et les résidus de pesticides (Andrade *et al.*, 2020).

Tableau VI : Effets directs et indirects des EM sur le rendement, la qualité d'une culture de tomate ainsi que les dégâts causés par un champignon et les ravageurs de culture (Higa & Wididana, 1991).

Traitement	Taille du plant cm	Poids frais racines g	Fusarium x10 ²	Galles/plant Nbre	Poids des galles g	Rendement % /contrôle	Production g.cm ⁻²	Fruits commercialisables Nbre	Dégâts sur les fruits Nbre	Dégâts sur les fruits %
O	70.0	13.4	228	83.0	1.20	100	110	15	69	82.1
OF	161	37.9	465	13.7	2.69	598	875	55	114	67.5
EM2	84.9	23.9	100	14.6	3.12	162	212	12	57	82.6
EM3	87.2	21.7	277	7.4	0.72	108	616	66	27	29.0
EM4	90.0	19.2	105	5.0	0.87	133	558	69	30	30.3
EM2.3	97.1	24.5	183	10.0	2.57	164	697	60	30	33.3
EM2.4	69.2	18.2	143	10.7	2.50	70.1	366	42	12	22.2
EM3.4	81.0	19.8	154	3.9	0.73	162	366	30	45	60.0
EM2.3.4	79.8	17.3	73	11.2	2.05	117	312	30	14	31.8

O : témoin sans fertilisation ni EM.

OF : témoin fertilisé sans EM

Fusarium : nombre d'individus par gramme de sol (poids sec)

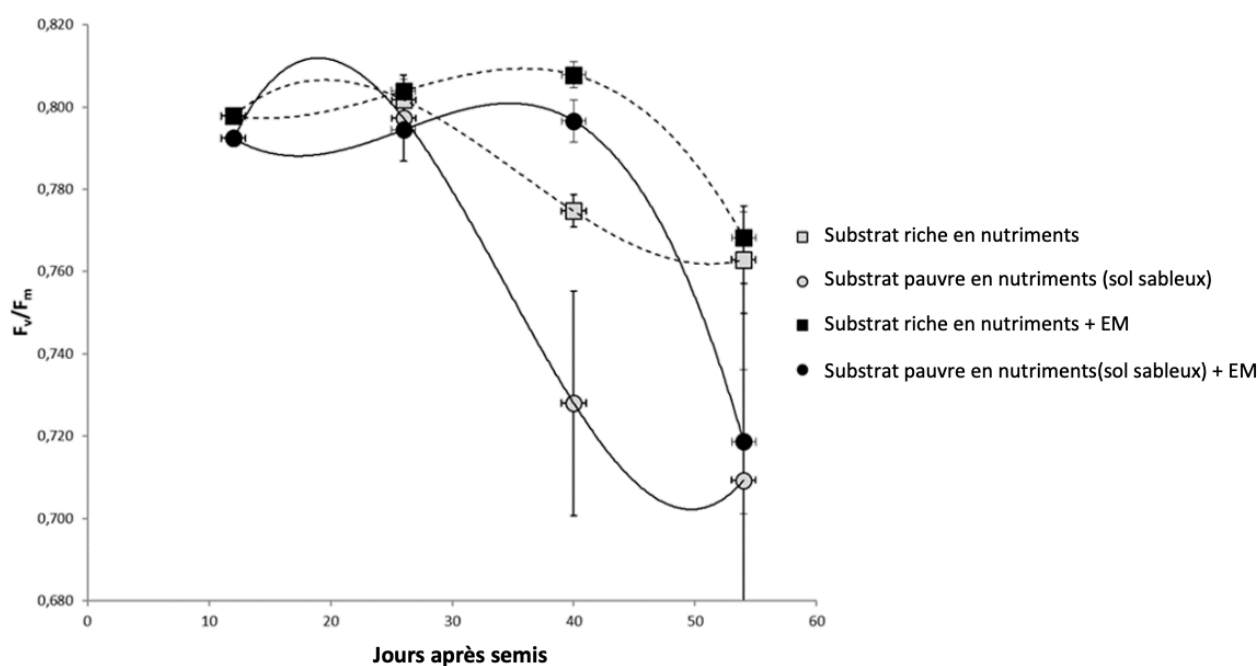


Figure 8 : Effets des EM sur l'efficacité photosynthétique de plants de haricots cultivés sur un substrat riche en nutriments ou sur un sol sableux, pauvre en nutriments (Iriti *et al.*, 2019).

Moyenne du rapport F_v/F_m : Fluorescence variable / Fluorescence maximale de la chlorophylle a au sein du photosystème II.

3.Applications des EM sur les cultures

3.1.Généralités sur les interactions entre microorganismes et croissance des plantes

De nombreux facteurs interviennent dans la détermination de la capacité des bactéries à établir des interactions avec les racines des plantes comme le génotype, l'état physiologique de la souche inoculée, la taille et la composition des populations soutenues par la rhizosphère. Ces facteurs dépendent eux-mêmes des conditions abiotiques, dont le pH, les minéraux et la teneur en eau du sol ainsi que l'espèce, le génotype et l'état physiologique de la plante. À cela, s'ajoute la présence d'autres espèces microbiennes et les interactions entre elles (Malusa, 2012). Les microorganismes peuvent également induire la production de métabolites, l'activation de systèmes antioxydants ou encore l'activation de gènes de résistance dans les plantes (Schlatter *et al.*, 2017). Différents composés sont produits par les microorganismes qui constituent les microorganismes efficaces. Parmi ceux-ci, on retrouve les acides organiques, les hormones végétales (gibbérellines, auxines et cytokinines), les vitamines, antibiotiques et polysaccharides. Tous ces produits exercent, directement ou indirectement, une influence positive sur la croissance des végétaux (Yuan *et al.*, 2011).

3.2.Mesures sur le rendement

L'application pendant 4 ans de deux préparations d'EM, EM.activé et Bokashi, dans une rotation de cultures en agriculture biologique en Suisse n'a entraîné aucun effet sur les rendements des cultures, la biomasse microbienne du sol, les paramètres d'activité ou la structure de la communauté microbienne du sol, qui pourrait être attribué à l'inoculum microbien. Les effets observés de l'application de Bokashi pourraient être liés aux apports de nutriments par le substrat porteur de Bokashi. En effet, les résultats ne présentaient pas de différences significatives entre les traitements avec EM et les témoins sans EM. Il est supposé que la structure de la communauté microbienne indigène du sol n'a pas pu être modifiée par des applications d'EM répétées sur 4 ans. En général, l'impact écologique sur la qualité du sol était faible ; les effets du temps d'échantillonnage et les différences dans les propriétés du sol ont dépassé les effets des traitements EM (Mayer *et al.*, 2010). Pourtant, comme présenté dans le tableau VI, une étude sur la production de tomates a montré que trois traitements avec différents mélanges d'EM ont produit une plus grande quantité de fruits commercialisables donc de meilleure qualité que le témoin sans EM (Higa & Wididana, 1991).

De plus, la figure 8 ci-contre démontre que l'utilisation d'EM peut améliorer l'efficacité photosynthétique via la réduction du stress métabolique et ainsi augmenter le rendement de plants de haricot notamment en conditions contraignantes. Dans cette étude, les plants ont été cultivés sous serre avec deux substrats différents, l'un riche en nutriments, l'autre pauvre en nutriments typique des sols sableux.

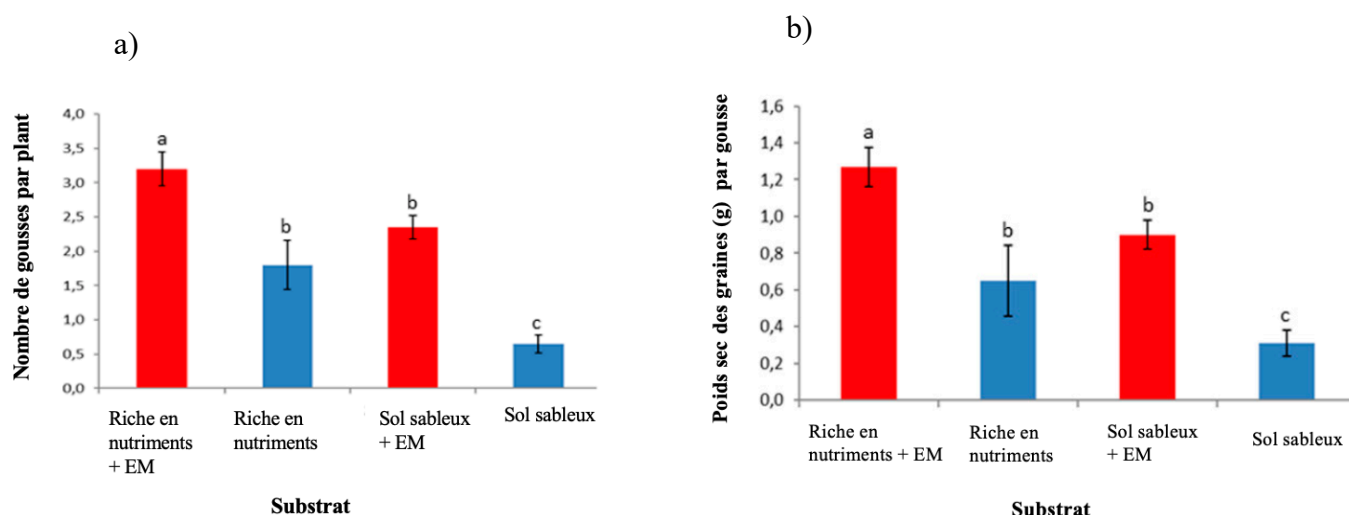


Figure 9 : Effets du traitement par les EM sur a) le nombre de gousses par plant de haricot et b) le poids sec des graines (grammes) par gousse (Iriti *et al.*, 2019).

Les résultats sont exprimés par moyenne (n=15), les barres d'erreur indiquent l'écart-type. Les différences significatives sont acceptées à $p < 0.05$ (test de Tukey).

Tableau VII : Effet des EM sur les caractéristiques de rendement du blé (Jalil *et al.*, 2017)

Traitements	Nombre de plantules/m ²	Taille (cm)	Nombre de grains/épi	Poids de 1000 grains (g)	Rendement de biomasse totale (t/ha)	Rendement (grains) (t/ha)
EM						
E ₀ (Without EM)	244.04 b	84.46 b	42.55 b	37.49 b	9.29 b	3.45 b
E ₁ (With EM)	269.50 a	90.04 a	45.95 a	40.03 a	12.50 a	4.30 a

Tableau VIII : Effet des EM sur l'absorption des NPK par le grain de blé (Jalil *et al.*, 2017)

Traitements	Absorption du N	Absorption du P	Absorption du K
EM			
E ₀ (Without EM)	95.89 b	6.10 b	13.09 b
E ₁ (With EM)	125.93 a	8.67 a	17.37 a

La culture précédente à l'expérimentation est une culture de riz. Le sol est caractérisé comme un loam argilo-limoneux avec un pH de 7,2 et une faible teneur en matière organique, azote disponible et phosphore. La solution d'EM est une solution commerciale, 50L/ha, diluée à 0,2 % et appliquée de manière répétée à des intervalles de deux semaines tout au long de la période expérimentale.

Environ 10 à 12 jours après le semis, une fois les feuilles primaires déployées, les plantes ont été traitées jusqu'à la fin de la floraison, tous les 7 jours, par application d'une solution commerciale d'EM.1 activée sur le sol.

L'application d'EM a permis d'augmenter considérablement le rendement des plants de haricots, même sur le sol sableux, pauvre en nutriments (fig.9). En revanche, les différences qui ont été observées dans le rendement en graines et la teneur en protéines pourraient être dues à la différence de teneur en azote des substrats, le sol sableux en était dépourvu. Cependant, la teneur en lipides a diminué, quel que soit le substrat, suggérant que globalement le traitement EM augmente la teneur en protéines au détriment des lipides dans les sols plus pauvres. Le traitement a également favorisé une accumulation plus élevée de fer, calcium, sodium, cuivre et phosphore, ions intéressants pour la nutrition humaine (Iriti *et al.*, 2019).

Par ailleurs, les EM sont connus pour atténuer le stress salin en modifiant certains processus physiologiques impliqués dans la tolérance au stress (Talaat *et al.*, 2015). En effet, le traitement EM sous stress salin a augmenté la hauteur des pousses, le poids sec des pousses par plante, la surface foliaire, le nombre de feuilles par plante, la longueur des racines, le poids sec des racines par plante, le nombre de graines par plante et le poids des graines par plante, ainsi que la teneur en protéines des graines et les concentrations de N, P et K dans les graines et les pousses. Les EM ont probablement amélioré la disponibilité des ressources minérales pour la croissance des plantes (Talaat, 2014). Il est important de relever que le biofertilisant est appliqué en solution acide (pH 3,4), optimale pour l'activation de l'EM et que le pH du sol détermine également les communautés microbiennes et les interactions qu'elles peuvent établir avec la rhizosphère (Iriti *et al.*, 2019).

L'utilisation d'EM peut également être associée avec des fertilisants classiques. Ainsi, l'utilisation des engrais chimiques peut être réduite de moitié. Les résultats d'une étude sur le blé ont montré que le phosphate combiné au fumier de ferme et aux EM appliqués au sol améliorerait considérablement le rendement du blé et les caractéristiques de rendement. (Tableau VII). Pour les grains, il est constaté une absorption plus efficace des NPK avec le traitement EM (Tableau VIII). En effet, les EM ont montré de meilleurs résultats pour solubiliser des quantités plus élevées de phosphate. Les apports de P_2O_5 étaient de 100 ou 150 kg/ha, et les apports de fumier de 5 tonnes/hectare.

En conclusion, l'utilisation de phosphate et de fumier de ferme, avec les EM, s'est avérée être une alternative moins chère aux engrais coûteux et a également permis de maintenir la productivité agricole. Ceci représenterait donc une stratégie prometteuse pour améliorer l'efficacité de l'utilisation du phosphore et la productivité des cultures de blé (Jalil *et al.*, 2017).

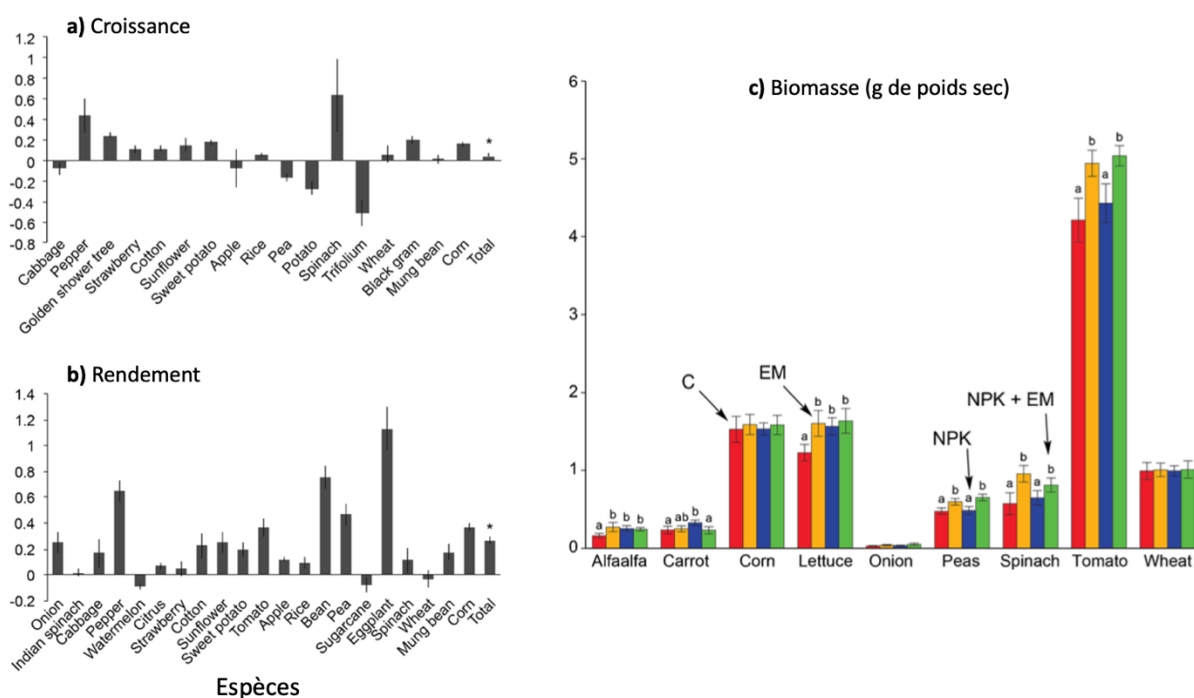


Figure 10 : Réponse de différentes espèces cultivées avec apport d'EM sur a) la croissance et b) le rendement. c) Poids moyen des racines de neuf espèces (Megali *et al.*, 2015).

Témoin (rouge), inoculés avec des EM (orange), avec fertilisation chimique (bleu), avec fertilisation chimique et inoculation avec des EM (vert).

Différences significatives ($p < 0.05$)

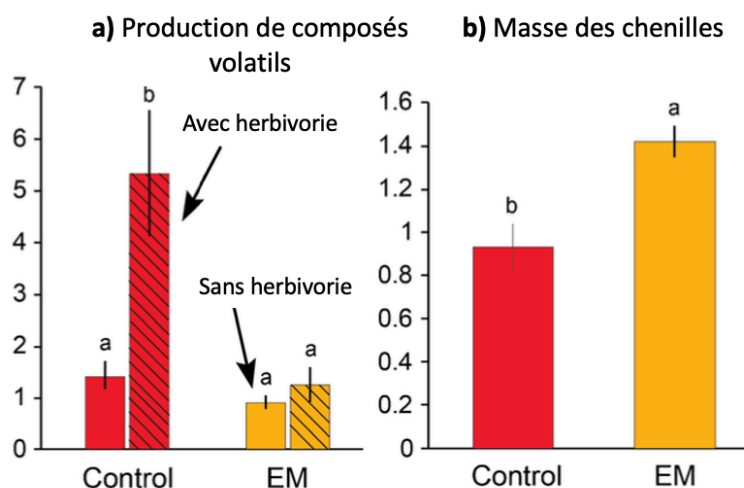


Figure 11 : Effet des EM sur les mécanismes de défense du maïs et de résistance du ravageur *Spodoptera littoralis* sur a) la production de composés volatils (ng/h) sans herbivorie par les chenilles (barres pleines) et avec herbivorie (barres hachurées) et sur b) la résistance moyenne des plants mesurée en biomasse des chenilles (poids sec en mg) après 4 jours de nutrition sur un plant de maïs traité aux EM (orange) ou sur un plant contrôle (rouge) (Megali *et al.*, 2015).

Différences significatives ($p < 0.05$)

Megali et al en 2015 ont réalisé une méta-analyse sur 39 articles et une expérience en serre avec neuf espèces de cultures, ce qui a permis une évaluation nuancée des effets des microorganismes efficaces sur la croissance et le rendement des plantes. L'EM utilisé dans l'expérience en serre est un EM commercial. Dans l'ensemble de la méta-analyse, les microorganismes efficaces ont montré un effet positif significatif sur le rendement et la croissance (fig.10), et une croissance accrue de 16 % en serre, mais avec des réponses fortes et parfois négatives spécifiques à l'espèce (pastèque, chou, pois, trèfle). Le fait que toutes les espèces n'aient pas répondu positivement à l'application des EM peut être due à différents facteurs comme une insensibilité de certaines espèces végétales aux EM (Hayat *et al.*, 2010). Également, l'inoculation du sol n'a peut-être pas entraîné l'établissement des espèces constitutives des EM dans la communauté microbienne locale du sol (Mayer *et al.*, 2010). De plus, il existe une forte variation entre les études dans les variables de réponse mesurées au sein d'une espèce. Comme présenté avec cette expérience en serre, toutes les espèces de cultures testées ne réagissent pas de la même manière au traitement par des EM lorsque les facteurs abiotiques sont maintenus constants. Les résultats de l'expérience en serre renforcent donc l'importance des réponses spécifiques aux espèces, en tant que facteurs déterminants plus forts que l'écologie locale du sol en ce qui concerne les performances des cultures.

Un autre avantage potentiel serait une défense accrue contre les attaques d'herbivores, mais le maïs inoculé (*Zea mays*) dans un champ et une expérience en serre ont montré des défenses diminuées. En effet, l'expérience sur le terrain a démontré que le traitement par des microorganismes efficaces correspondait à une réduction de 26 % de la diversité des insectes prédateurs sur les plants de maïs, sans améliorer la croissance ou le rendement, mais en augmentant l'absorption d'eau. Une expérience ultérieure en serre a démontré que lorsque des chenilles de l'insecte herbivore *Spodoptera littoralis* se sont attaquées à des plants de maïs témoins non inoculés, la production de composés organiques volatils (COV) défensifs a augmenté de 272 % (fig.11). Étonnamment, l'inoculation de microorganismes efficaces a rendu les plants de maïs cultivés sous serre 51 % plus appétissants pour *S. littoralis* en inhibant la production des COV. Dans leur ensemble, les résultats indiquent un effet positif des micro-organismes efficaces sur la production des cultures, mais des effets négatifs sur les défenses des plantes qui devraient être pris en compte dans les futures analyses coûts/bénéfices (Megali *et al.*, 2015).

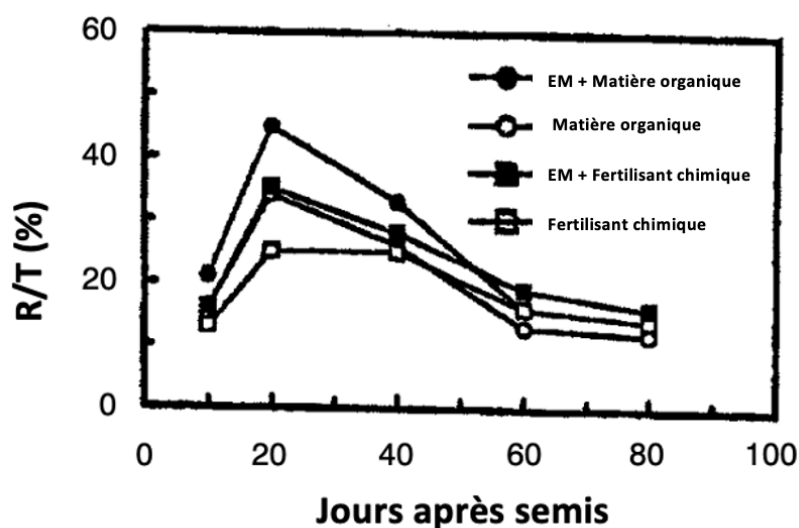


Figure 12 : Racines/Masse sèche totale (R/T) de plants de maïs cultivés avec un fertilisant organique ou chimique et avec ou sans inoculant microbien à différents stades de croissance (Xu, 2001).

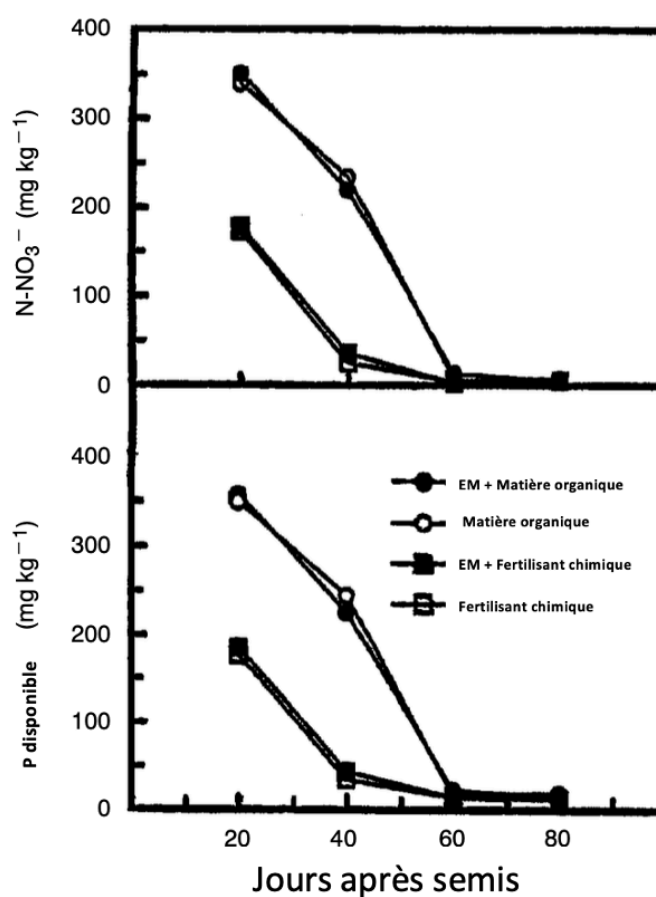


Figure 13 : Taux de nitrate et de phosphore disponible dans le sol.

Plants de maïs cultivés avec un fertilisant organique ou chimique et avec ou sans inoculant microbien à différents stades de croissance (Xu, 2001).

3.3. Effets des EM sur la physiologie des plantes (Cas d'une culture de maïs)

Actuellement, le maïs (*Zea mays*) est la deuxième production agricole la plus importante en France, après le blé, jouant un rôle crucial dans la souveraineté alimentaire et énergétique du pays. Cette culture est au cœur de nombreuses filières économiques, de l'élevage à l'agroalimentaire, en passant par la chimie verte. Cependant, elle présente de nombreux défis, notamment sa dépendance à l'irrigation et aux intrants agricoles, ce qui peut entraîner des coûts de production élevés [Bayer-agri]. De ce fait, l'utilisation des EM peut être un levier pour réduire ces coûts de production.

Une étude montre que dans les premiers stades de développement la croissance et le rendement en matière sèche des plantes ayant reçu de l'engrais organique fermenté par EM étaient inférieurs à ceux des plantes traitées avec de l'engrais chimique qui apportait des niveaux initiaux plus élevés de macronutriments. Néanmoins, les plantes fertilisées avec de la matière organique et des EM ont montré un rapport racine/masse sèche totale plus élevé que les plantes fertilisées avec de la matière chimique jusqu'au 40^{ème} jour après semis (fig.12), de même pour l'activité physiologique des racines montrée par le taux de respiration.

Cependant, au cours des stades de croissance intermédiaire et tardif, l'EM a augmenté la disponibilité des nutriments de l'engrais organique à un niveau plus élevé que l'engrais chimique (fig.13). Par conséquent, même si le taux de croissance initial des plantes ayant reçu de l'engrais organique avec EM était inférieur à celui de l'engrais chimique, le rendement final en biomasse et en grains de l'engrais organique était égal ou supérieur à celui de l'engrais chimique grâce à une photosynthèse plus efficace malgré la surface foliaire moins développée.

Les résultats de l'étude peuvent être associés à la fois à une nutrition durable de l'engrais organique et à un système racinaire plus actif où non seulement les nutriments sont absorbés, mais certains types de phytohormones sont également produits. Si le problème de la faible disponibilité des nutriments dans les matières organiques est résolu, la culture biologique avec EM conduira à une productivité similaire ou supérieure à celle de l'agriculture chimique. Il est connu que la fertilisation à long terme avec des matières organiques améliore les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et la croissance et l'activité du système racinaire sont favorisées par les propriétés améliorées du sol.

Il a également été démontré que la sénescence en termes de performance photosynthétique a été retardée par les applications d'EM. Enfin, la promotion du développement et de l'activité des racines par les applications d'EM pourrait être due aux effets des régulateurs de croissance des plantes, produits par les microbes inoculés (Xu, 2001).

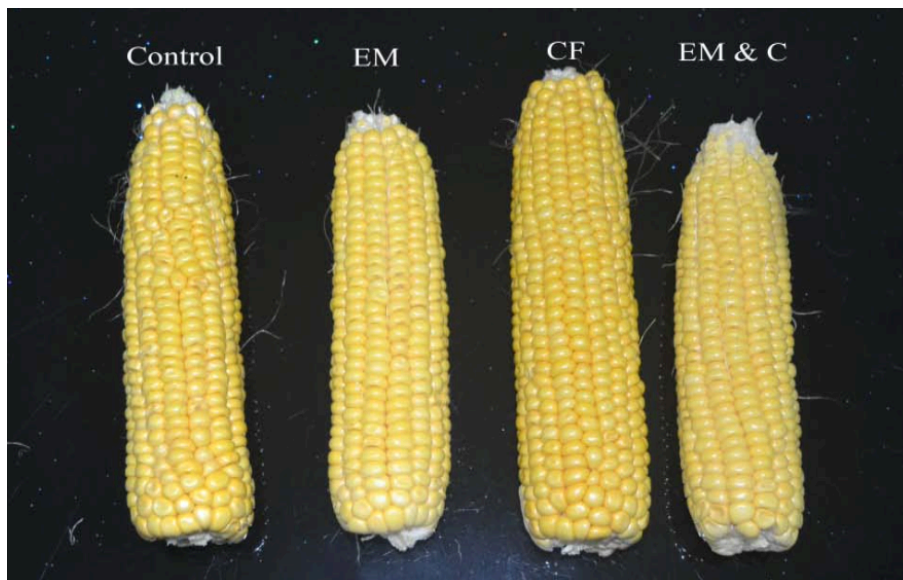


Figure 14 : Couleur des épis de maïs après récolte (Mohammed, 2014).

EM : application d'une solution diluée d'EM toutes les 2 semaines après le semis.

CF : application de fertilisants chimiques (NPK) toutes les 2 semaines après le semis.

EM & C : application d'une solution diluée d'EM et de compost (fumier de chèvre et mouton) toutes les 2 semaines après le semis.

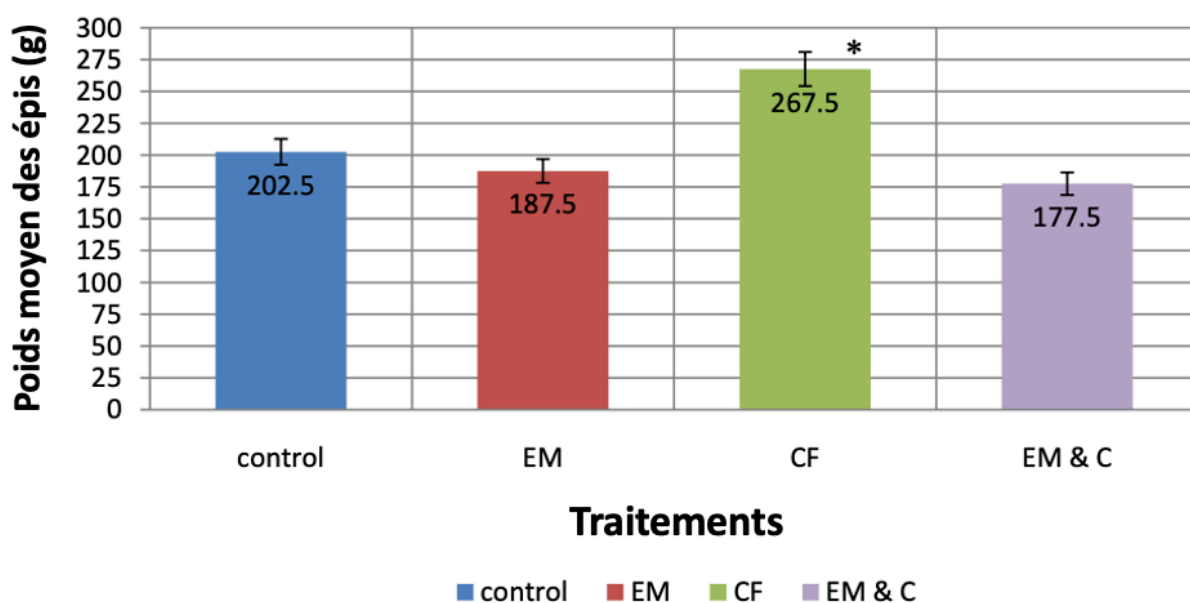


Figure 15 : Poids moyen des épis de maïs selon le traitement (Mohammed, 2014).

*significatif à $\alpha \leq 0.05$.

En revanche la combinaison EM et matière organique n'entraîne pas toujours des effets positifs sur la culture de maïs.

En effet, les différences observées dans la couleur des épis de maïs (fig.14), en particulier celui de la lignée de traitement (EM & C) qui a montré une couleur jaune clair, peuvent être dues au retard de croissance des plants de maïs. Cependant, les épis de la lignée (CF) ont montré une couleur dorée, ce qui pourrait être dû à la pleine maturité des épis de cette lignée de traitement.

L'utilisation d'EM dans cette expérience, réalisée en plein champ, a diminué la hauteur de la plante et la croissance des feuilles par rapport au témoin. De plus, les résultats ont montré une diminution du poids de l'épi de maïs (fig.15) et du diamètre de celui-ci mais sa longueur est légèrement plus importante que le témoin. L'application d'EM a augmenté le pH du sol après la récolte et la teneur en humidité du sol en comparaison à l'avant semis.

D'autre part, l'utilisation d'engrais chimique (CF) contrairement aux autres traitements (EM) et (EM & C) ont augmenté la hauteur de la plante et la croissance des feuilles en comparaison avec le témoin. En outre, l'utilisation d'engrais chimiques a augmenté le poids de l'épi de maïs, sa longueur et son diamètre par rapport au témoin et le pH du sol a également augmenté après la récolte, de même pour la teneur en humidité du sol par rapport à l'avant semis.

En conclusion, la production la plus faible a été constatée dans le traitement (EM & C). Celui-ci a entraîné une hauteur végétative et une croissance des feuilles diminuée par rapport au témoin. Le poids de l'épi de maïs, sa longueur et son diamètre sont en deçà du témoin. En termes de pH et d'humidité du sol, les constats sont similaires aux autres traitements.

Les résultats de cette expérience ont montré que l'incorporation d'engrais chimiques confère une meilleure croissance des plants de maïs ainsi que des rendements plus importants.

Dans cette étude, il a été démontré que l'application d'EM en combinaison avec du fumier de chèvre et de mouton induit une croissance, un rendement et une production inférieurs à ceux des engrais chimiques (Mohammed, 2014).

Tableau IX : Effets des EM sur le nombre de microorganismes dans le sol (Higa & Wididana, 1991).

Traitement	Bacteria $\times 10^5$	Fungi $\times 10^3$	Actinomycetes $\times 10^4$
O	47.8	9.42	17.9
OF	59.4	23.1	8.38
EM2	69.3	39.1	17.8
EM3	79.8	36.9	29.5
EM4	147	35.5	29.6
EM2.3	136	34.7	11.4
EM2.4	112	39.7	11.6
EM3.4	105	11.8	39.2
EM2.3.4	118	14.0	20.2

Microorganismes par gramme de sol (poids sec) compté avant le semis.

O : témoin sans fertilisation ni EM. OF : témoin fertilisé sans EM

Tableau X : Effet des EM sur la population fongique du sol (Higa & Wididana, 1991).

Traitement	<i>Trichoderma</i> $\times 10^2$	<i>Penicillium</i> $\times 10^3$	<i>Verticillium</i> $\times 10^3$	<i>Thielaviopsis</i> $\times 10^3$	<i>Fusarium</i> $\times 10^2$
O	2.77	3.96	32.9	25.0	228
OF	0.77	1.15	38.7	18.8	465
EM2	9.25	1.61	28.6	12.9	110
EM3	5.87	8.61	25.8	10.9	277
EM4	2.73	3.50	38.6	21.0	105
EM2.3	20.4	5.09	24.7	18.4	182
EM2.4	1.18	3.14	22.0	20.8	143
EM3.4	2.75	1.57	22.8	22.8	154
EM2.3.4	0.78	5.10	16.1	16.1	73

Champignons par gramme de sol (poids sec) compté à la seconde plantation de tomates

O : témoin sans fertilisation ni EM. OF : témoin fertilisé sans EM

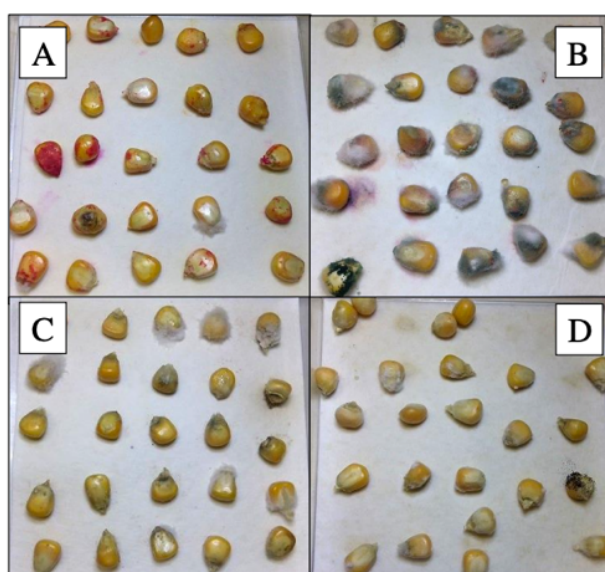


Figure 16 : Semences de maïs traitées avec fongicide (A), avec de l'eau distillée (B), et avec deux solutions d'EM non commerciales (Dourado, 2018).

4.État des population fongiques et effets fongicides

Les populations fongiques représentent une part importante de la population microbienne du sol. Parmi ces champignons certains sont bénéfiques, d'autres sont pathogènes. Une étude in situ démontre un effet bénéfique de l'application d'EM sur les populations fongiques. De plus, il est apparu qu'un traitement avec une solution d'EM est associé à une population plus faible de bactéries pathogènes (Tableau IX).

L'effet des EM sur les populations fongiques du sol a montré que le sol traité uniquement avec de l'engrais contenait de faibles quantités de *Penicillium* et de *Trichoderma* (Tableau X). Ces champignons bénéfiques peuvent jouer un rôle important dans l'inhibition ou la suppression des agents pathogènes microbiens des plantes transmis par le sol grâce à leurs activités antagonistes (Higa & Wididana, 1991).

En complément, une étude brésilienne sur les effets fongicides des EM sur le maïs a démontré des résultats intéressants :

Trois inoculants d'EM d'origines différentes ont été utilisés, deux obtenus auprès d'agriculteurs et un EM commercial (solution mère EM.1). Les EM obtenus auprès des agriculteurs ont été produits à partir de micro-organismes locaux. Le mélange consiste en du riz cuit (700 grammes) posé au sol et recouvert de matière végétale en décomposition, qui est, petit à petit colonisé par des micro-organismes. Ensuite, le tout est introduit dans une bouteille avec de la mélasse (200 mL) et de l'eau (1,8 L), la fermentation dure environ cinq jours.

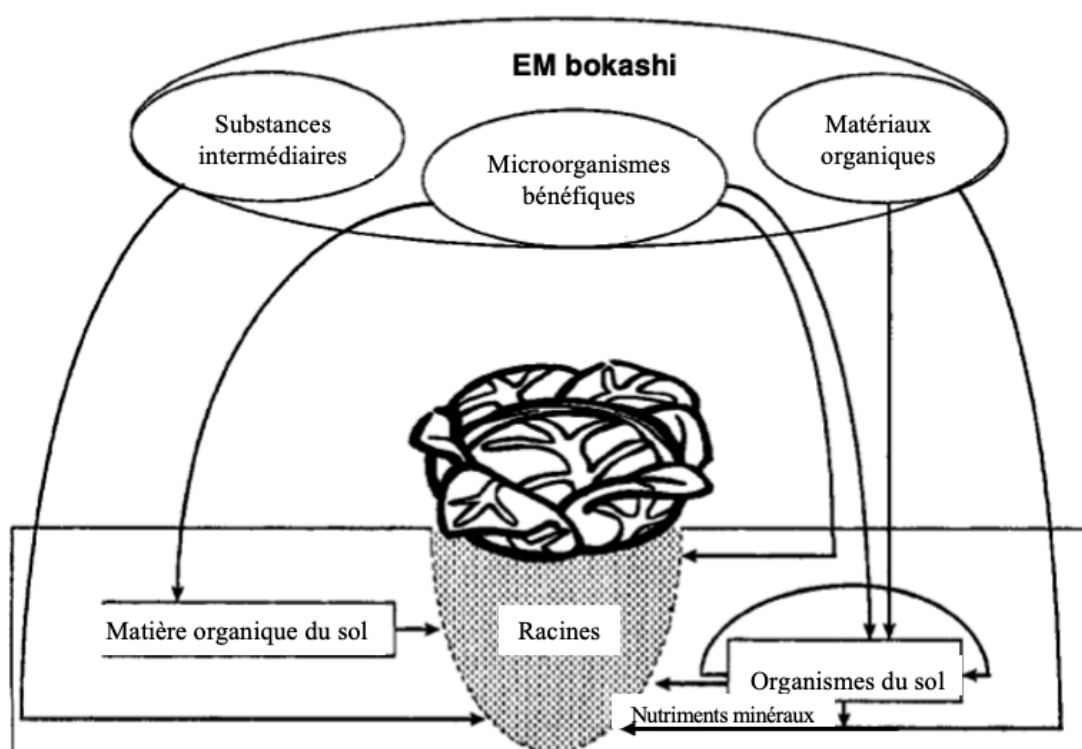
Pour l'EM commercial, les normes d'activation du produit, recommandées par le fabricant Ambiem Brasil Ltda, ont été suivies, en utilisant la mélasse fournie par l'entreprise avec le produit et, pour le traitement des semences, les instructions d'utilisation indiquées.

Les résultats ont montré, que peu importe l'origine de l'EM, ceux-ci diminuent l'incidence des champignons phytopathogènes dans les semences de maïs entre 67% et 21% par rapport au témoin traité à l'eau distillée (fig.16).

En conséquence, les EM peuvent contribuer à améliorer la qualité sanitaire du maïs, en réduisant l'incidence de champignons pathogènes dans les semences (Dourado, 2018).

Sur des plants de haricots, les EM ont également été appliqué comme agent de lutte biologique contre *Rhizoctonia solani*, diminuant considérablement la gravité et l'incidence de l'infection (Iriti *et al.*, 2019). Ces résultats s'expliquent par l'occupation de différentes niches dans la zone racinaire par les microorganismes efficaces, ainsi, ils rivalisent pour l'espace et les nutriments, limitant le développement des espèces phytopathogènes par le développement de composés antibiotiques et antifongiques (Schlatter *et al.*, 2017).

Figure 17 : Interactions entre les EM sous forme solide, la plante et le sol (Xu, 2001).



5. Conclusion sur la partie sol et cultures

Les effets positifs des EM sur la fertilité des sols et la croissance des plantes semblent établies (fig.17), néanmoins les interactions directes et indirectes ne sont pas toutes identifiées (Xu, 2001).

De nombreuses études démontrent que les microorganismes efficaces peuvent être une alternative en termes de fertilisation pour différentes cultures, égalant ou même surpassant les plantes traitées avec des engrais chimiques conventionnels (Megali *et al.*, 2015).

Au cours de ces dernières décennies, plusieurs isolats de microorganismes efficaces ont été obtenus, montrant des propriétés d'amélioration de la croissance des plantes ou de lutte biologique. Cependant, de tels mélanges sont plus exigeants techniquement, car ils augmentent les difficultés de conception d'un inoculant qui s'adapterait aux différentes souches et types de micro-organismes. La conception de supports à base de biofilms ou de techniques d'encapsulation pourrait faciliter le développement de biofertilisants microbiens. Une des problématiques principales est qu'à ce jour la plupart des inoculum sélectionnés ont été conçus pour les cultures annuelles (légumineuses, céréales et certains légumes) or il existe une demande croissante de la part d'autres secteurs agricoles telle que la production fruitière, et en particulier en agriculture biologique et systèmes de production intégrés, où les intrants synthétiques ne sont pas autorisés et où leur utilisation est limitée par des restrictions au niveau des cahiers des charges. Les cultures hors-sols peuvent également constituer un marché intéressant pour les EM commerciaux, où la prévisibilité des applications peut être plus élevée qu'en plein champ en raison de l'utilisation de substrats inertes et de conditions de croissance contrôlées. La sélection de souches spécifiques pour toutes ces cultures peut encore élargir le marché des inocula et soutenir l'évolution de l'agriculture vers des systèmes de production plus durables.

De plus, le développement de technologies visant à une distribution efficace des EM est nécessaire, les pulvérisateurs et autres asperseurs normalement utilisés pour la protection des plantes ou l'irrigation sont-ils adaptés à une application efficace des solutions microbiennes ? (Malusa, 2012).

En termes de bénéfices économiques, dans le cas d'une alternative aux fongicides, le gain hectare peut être de 45 euros (5 euros/ha au lieu de 50 euros/ha). La matière première est peu coûteuse, environ 30 euros le litre de solution mère à laquelle il faut ajouter le coût du système de production. Une production artisanale peut réduire davantage les coûts [Triple Performance].

À l'heure actuelle, il est certain que des études supplémentaires sont nécessaires afin de déterminer l'efficacité réelle des EM dans des conditions de champ ouvert, où les plantes sont exposées à de multiples stress biotiques et abiotiques concomitants (Iriti *et al.*, 2019).

Tableau XI : Paramètres corporels et alimentaires sur deux groupes de poulets de chair ayant consommé une eau supplémentée en EM (Jwher *et al.*, 2013).

Semaine	Poids hebdomadaire (g)		Gain de poids (g)		% par rapport au T1
	T1	T2	T1	T2	
1	127.1 ± 3.33	129.1 ± 2.24	81.652 ± 3.07	82.94 ± 2.1	10.1
2	346.5 ± 7.99	347.18 ± 7.35	216 ± 7.11	218.1 ± 7.95	10
3	691.8 ± 22.1	779.8 ± 13.21 *	347.8 ± 23.83	437.3 ± 16.34 *	12.5
4	1260.5 ± 36.87	1444.5 ± 18.6 *	568.8 ± 38.28	664.8 ± 24.02	11.6
5	1758 ± 34.52	2019.8 ± 63.7 *	497.5 ± 47.89	575.3 ± 70.59	11.5
Semaine	Prise alimentaire (g)		Taux de conversion alimentaire (g/g)		
	T1	T2	T1	T2	
1	113.2 ± 4.03	113 ± 4.62	1.40 ± 0.003	1.37 ± 0.003 *	
2	394.3 ± 24.25	378.8 ± 10.48 *	1.81 ± 0.003	1.73 ± 0.003 *	
3	638.14 ± 15.3	593.1 ± 7.80 *	1.85 ± 0.003	1.37 ± 0.003 *	
4	845.71 ± 5.81	965.8 ± 25.6 *	1.49 ± 0.003	1.46 ± 0.003 *	
5	754.29 ± 9.32	844.3 ± 20.66 *	1.52 ± 0.003	1.47 ± 0.003 *	

T1 : témoin, T2 : EM dans l'eau consommée (10mL pour un litre d'eau).

Moyenne±Écart-type pour 15 animaux/groupe

*Significatif pour P (<0.05)

Les animaux avec de faibles taux de conversion consomment moins d'aliments par unité de gain de poids corporel.

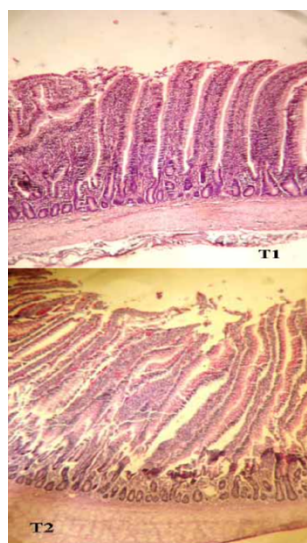


Figure 18 : Coupe transversale du jéjunum montrant la différence de hauteur des villosités et de profondeur des cryptes dans le groupe traité T2 et le groupe témoin T1 (Jwher *et al.*, 2013).

Tableau XII : Traitements appliqués dans l'eau et l'alimentation des poulets de chair (Wondmeneh *et al.*, 2011).

	Traitement 1	Traitement 2	Traitement 3	Traitement 4
EM dans l'aliment	/	/	+	+
EM dans l'eau	/	+	/	+

Traitement 1 : groupe témoin

6.Applications des EM en élevage

6.1.Poulets de chair

Les résultats d'une étude sur l'ajout d'EM dans l'eau de boisson de poulets de chair démontrent un gain de poids corporel significativement plus important chez les poulets traités avec EM que chez ceux qui consommaient de l'eau sans EM. Une telle augmentation peut être attribuée à l'amélioration de l'efficacité d'utilisation des aliments, comme le reflète l'amélioration du taux de conversion alimentaire observé dans l'étude, ce taux correspond au rapport entre la quantité d'aliments ingéré et le gain de production obtenu. Les poulets hydratés avec de l'eau contenant des EM consommaient plus d'aliments, ce qui indique que ceux-ci provoquent une meilleure assimilation (Tableau XI). Globalement, la surface intestinale du groupe traité a augmenté (fig.18), facilitant l'absorption et l'assimilation des nutriments dans une plus grande mesure et, ceci peut être attribué à un effet promoteur de croissance de ces EM.

De plus, les poulets traités avaient significativement plus d'anticorps que les poulets témoins, traduit par l'augmentation du poids relatif de la bourse, organe de production des cellules sanguines (hématopoïèse). Cela peut être dû à l'augmentation du nombre de lymphocytes dans les organes lymphoïdes primaires suite à la consommation d'EM. Cette augmentation significative du pourcentage de lymphocytes, pourrait traduire une prédisposition du corps à défier le nombre accru de bactéries administrées par le biais de la supplémentation en EM. En effet, ceux-ci stimulent le système immunitaire et le renforcent.

En conclusion, cette étude a montré que les EM distribués dans l'eau avaient un effet bénéfique sur les paramètres de production des poulets de chair, ainsi que les facteurs immunologiques et intestinaux (Jwher *et al.*, 2013).

Une seconde étude traite de l'incorporation des EM dans l'eau ainsi que dans la ration alimentaire. 3 % de Bokashi (EM sous forme solide) ont été mélangé aux aliments et pour l'eau de boisson, 2 mL de solution EM activée ont été ajoutés dans un litre d'eau. Différents traitements sont préparés afin de comparer les effets des EM (Tableau XII). La consommation d'aliments s'est avérée significativement plus élevée pour le traitement 4 que pour le reste des groupes de traitement. En conséquence, le gain de poids était significativement plus élevé. Par ailleurs, les animaux nourris avec le traitement 4 ont eu besoin de moins d'aliments pour un gain de poids moyen quotidien. Enfin, l'application d'EM sous toutes ses formes a entraîné une diminution significative du cholestérol sanguin total, avec une plus grande efficacité pour l'application d'EM dans l'aliment et l'eau combinées (Wondmeneh *et al.*, 2011).

Tableau XIII : Traitements appliqués à l'alimentation veaux âgés de 6 mois.

Traitement 1	Traitement 2	Traitement 3	Traitement 4
Foin + mélange concentré	Foin + 33 % du mélange concentré composé de son de blé traité EM	Foin + 66 % du mélange concentré composé de son de blé traité EM	Foin + 100 % du mélange concentré composé de son de blé traité EM

Chaque traitement correspond à un groupe de 5 veaux.

Tableau XIV : Effets des EM sur le gain de poids de jeunes chevreaux (Dahal, 2006).

Individu	Traitement	Poids initial (kg)	Poids après 30j (kg)	Poids après 60j (kg)	Gain de poids net (kg)
1	G1 (Témoin)	12.5	13.65	14.5	2.2
2		8.0	9.3	10.25	
3		9.0	10.3	11.45	
4	G2 (5% de Bokashi dans l'alimentation)	4.1	5.4	7.1	3.64
5		11.0	13.1	14.7	
6		4.9	7.5	9.1	
7	G3 (10% de Bokashi dans l'alimentation)	4.8	8.1	11.0	5.27
8		3.75	6.3	8.8	
9		9.25	12.05	14.0	

Tableau XV : Doses d'EM recommandées comme probiotiques pour différentes espèces animales (Félix, 2015).

Catégorie	Dose/animal/jour
Porcelets (1 ^{ère} semaine)	5 mL
Porcelets après la 1 ^{ère} semaine	2,5 mL
Engraissement des porcelets	5 mL
Truies allaitantes	8 mL
Veau/génisse	150 mL
Vache ou taureau	200 à 300 mL
Catégorie	Dose (% du poids de l'aliment sec)
Poussins (jusqu'à 2 semaines)	6 %
Engraissement (plus de 2 semaines)	4 %
Renouvellement	4 %
Pondeuse	3 %

6.2. Alimentation des veaux

L'étude des effets de l'ajout d'EM sur les performances en termes de production chez les bovins a été réalisée sur des veaux de race Holstein-Frison croisés Boran en Éthiopie. Ce croisement permet d'obtenir une race mixte tant exploitée pour sa viande que son lait (Nibo, 2003). Tous les veaux des différents groupes ont reçu une alimentation de base similaire à base de foin de pâturage indigène. Pour les traitements 2, 3 et 4 une partie du mélange concentré a été remplacé par du son de blé traité aux EM (Tableau XIII). La préparation appelée Bokashi a été confectionnée à partir d'un litre d'EM.1 (solution mère) à laquelle a été ajouté un litre de mélasse, 50 g de sucre de table, 18 litres d'eau sans chlore et enfin 50 kg de son de blé. Le mélange est laissé fermenter pendant environ trois semaines dans un grand tonneau en plastique d'une capacité de 150 kg avant d'être donné à l'animal. En ce qui concerne les résultats obtenus, le gain de poids corporel quotidien le plus élevé concerne le traitement 2 (823 g/veau/jour) et la meilleure efficacité de conversion alimentaire a été observée pour les veaux du traitement 4. La supplémentation alimentaire traitée aux EM a eu un effet bénéfique sur les performances de croissance des veaux (Kehaliew, 2014).

6.3. Alimentation des chevreaux

D'après une étude sur l'alimentation supplémentée en EM sur des chevreaux, une augmentation proportionnelle du gain de poids net a été observée (Tableau XIV). En effet, les animaux du groupe 3 ayant consommé une ration avec ajout de Bokashi de l'ordre de 10 % ont vu leur gain de poids net doublé d'un facteur 2,4 par rapport au groupe 1 témoin (Dahal, 2006).

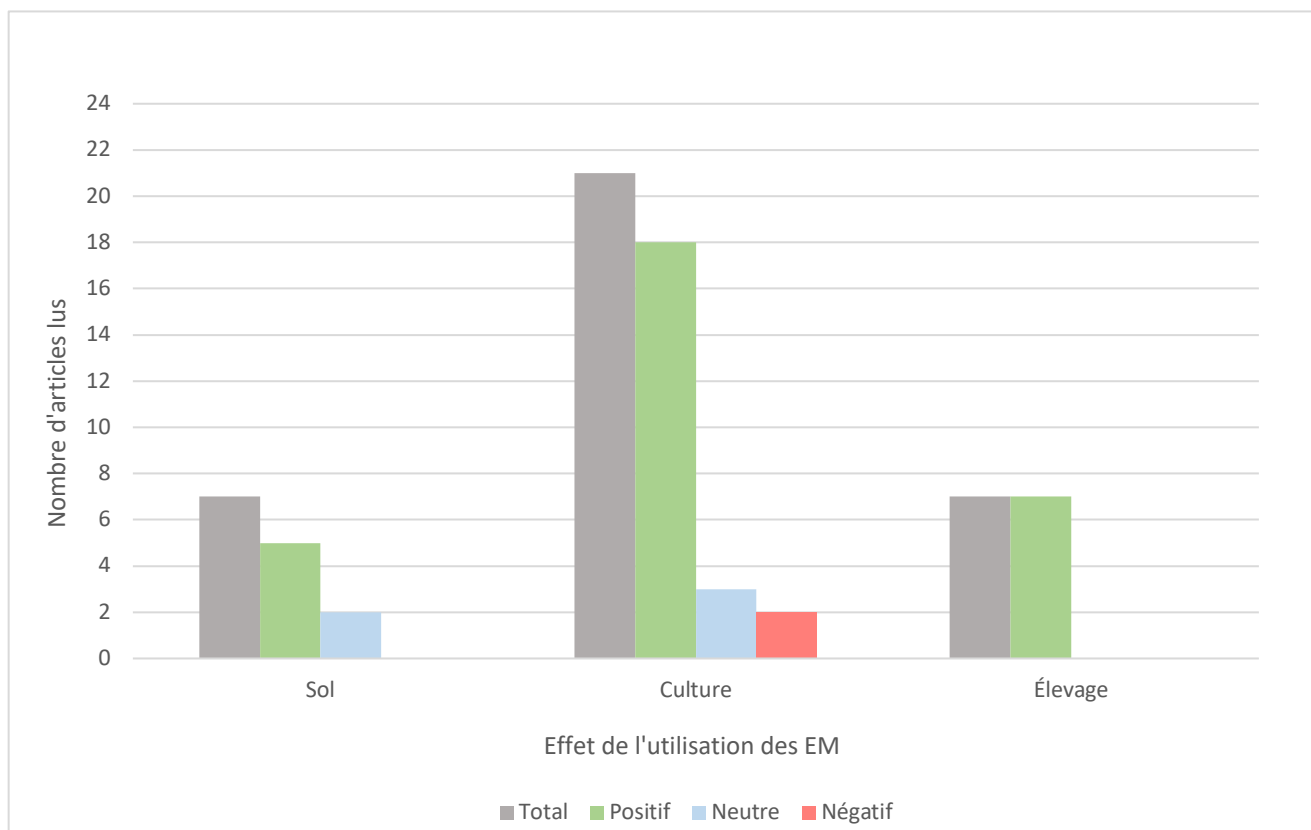
6.4 Conclusion pour l'élevage

En conclusion, les EM améliorent les performances de croissance, l'efficacité alimentaire, la santé intestinale et l'immunité des poulets de chair. Cette supplémentation permet également la baisse du taux de cholestérol dans le sang et représente donc une potentielle alternative à l'utilisation d'antibiotiques (Safalaoh & Smith, 2001). L'utilisation des EM sous forme de Bokashi améliore significativement les performances de croissance chez les veaux et les chevreaux. Chez les poulets, canards et cochons, il est constaté une meilleure résistance aux maladies, un moindre besoin d'antibiotiques et une meilleure qualité de la production. Dans les déjections, l'application d'EM limite les mauvaises odeurs et améliore leur valeur de fertilisants organiques en agriculture (Li *et al.*, 1995).

Chez des poules pondeuses dont l'alimentation et l'eau de boisson ont été supplémentées avec des EM, le pourcentage de production d'œufs était plus élevé et ceux-ci étaient 6 % plus lourds que ceux des oiseaux témoins. Un meilleur taux de conversion alimentaire ainsi qu'une amélioration significative de la qualité des œufs ont été constatés (Atsbeha & Hailu, 2021).

Le tableau XV présente différentes doses d'EM utilisés pour promouvoir la santé des animaux.

Figure 19 : Nombre d'articles lus pour la rédaction de ce mémoire et effets constatés (positif, neutre, négatif) de l'utilisation des EM sur le sol, les cultures et l'élevage.



7. Conclusion générale

Globalement, les effets des EM sur le sol, les cultures ou l'élevage sont positifs, parfois neutres. Il est rare que les effets soient négatifs (fig.19). Les paramètres abiotiques variant énormément entre les études doivent être pris en compte, ainsi que les sources différentes de microorganismes et les méthodes d'application de ceux-ci.

En ce qui concerne les cultures maraîchères, dans 70 % des études publiées, il a été conclu que les EM avaient un effet positif sur la croissance des légumes, tandis que dans les 30 % restants, ils n'avaient aucune influence significative. Parmi les 22 rapports sur les effets des EM sur les rendements des légumes, 84 % étaient positifs, 4 % étaient négatifs et 12 % n'ont montré aucune influence significative. Il a donc été conclu que les EM peuvent améliorer la qualité et le rendement des légumes en réduisant l'incidence des ravageurs et des maladies (Olle & Williams, 2013).

Les microorganismes efficaces ont la capacité de stimuler la croissance et le rendement des cultures en améliorant également les propriétés du sol. L'application ou la présence de microorganismes efficaces dans le sol améliore non seulement la capacité nutritionnelle, la fertilité et la productivité des sols, mais contribue également à remédier aux problématiques de sol de manière rentable (Younas *et al.*, 2002). Ils offrent aux animaux une meilleure digestion et absorption des nutriments et aident à lutter contre la mortalité des jeunes en jouant un rôle immunostimulant ce qui limite également l'utilisation des antibiotiques et autres médicaments.

L'utilisation des EM en agriculture est prometteuse mais nécessite des recherches avancées pour faire progresser les connaissances sur l'efficacité des produits. La mise en évidence de références sur la formulation et le mode d'application permettant une utilisation optimisée dans différents domaines agricoles est un levier pour favoriser la mise en place durable de ces produits. Il est essentiel de former, sensibiliser et d'accompagner les acteurs (agriculteurs, conseillers techniques, étudiants agricoles) sur la production et l'utilisation à la ferme des microorganismes efficaces (Desfontaines *et al.*, 2018). Ces pratiques sont peu compatibles avec l'utilisation de produits phytosanitaires qui pourraient tuer les microorganismes [Triple Performance], en revanche elles représentent un levier vers le développement de systèmes de culture et polyculture agroécologiques.

Références bibliographiques

Andrade FMCD, Bonfim F, Honório I, Reis I, Pereira ADJ., Souza DDB (2020). Caderno dos microrganismos eficientes (EM) : Instruções práticas sobre uso ecológico e social do EM. 3 edição. *Departamento de Fitotecnia Campus da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG*, 32.

Atsbeha AT, Hailu TG (2021). The impact of effective microorganisms (EM) on egg quality and laying performance of chickens. *International Journal of Food Science* **2021** : 8p.

Avila GM de A, Gabardo G, Clock DC, Lima Junior OS (2021). Use of efficient microorganisms in agriculture. *Research, Society and Development* **10(8)** : 1-13.

Dahal BK (2006). Effective Microorganism (EM) for Animal Production. *International Conference on Kyusei Nature Farming* **6** : 156-162.

Desfontaines L, Rotin P, Ozier-Lafontaine H (2018). Les biostimulants : qu'en savons-nous ? Quelles alternatives pour l'agriculture guyanaise ? *Innovations Agronomiques* **64** : 31-46.

Dourado EDR (2018). Microrganismos Eficientes (EM) no tratamento de sementes de milho.

Esatu W, Melesse A, Dessie T (2011). Effect of effective microorganisms on growth parameters and serum cholesterol levels in broilers. *African Journal of Agricultural Research* **6(16)** : 3841-3846.

Félix D (2015). Les Microorganismes Efficaces (EM) - Compilation de documents et témoignages cubains sur le fonctionnement, la production artisanale et l'usage de microorganismes efficaces en milieu paysan. Rapport interne Terre & Humanisme 42p.

Gevao B, Semple KT, Jones KC (2000). Bound pesticide residues in soils: a review. *Environmental Pollution* **108(1)** : 3-14.

Green RE, Cornell SJ, Scharlemann JPW, Balmford A (2005). Farming and the fate of wild nature. *Science* **307(5709)** : 550-555.

Hadizadeh I, Peivastegan B, Kolahi M (2009). Antifungal activity of nettle (*Urtica dioica* L.), colocynth (*Citrullus colocynthis* L. Schrad), oleander (*Nerium oleander* L.) and konar (*Ziziphus spina-christi* L.) extracts on plants pathogenic fungi. *Pakistan journal of biological sciences* **12(11)** : 58-63.

Hayat R, Ali S, Amara U, Khalid R, Ahmed I (2010). Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. *Annals of Microbiology* **60(4)** : 579-598.

Higa T, Parr FJ (1994). International Nature Farming Research Center Atami, Japan **1** : 1-16.

Higa T, Wididana GN (1991). Changes in the Soil Microflora Induced by Effective Microorganisms. In Proceedings of the first international conference on Kyusei nature farming. US Departement of Agriculture, Washington DC, USA. 153-162.

Iriti M, Scarafoni A, Pierce S, Castorina G, Vitalini S (2019). Soil application of effective microorganisms (EM) Maintains leaf photosynthetic efficiency, increases seed yield and quality traits of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants grown on different substrates. *International journal of molecular sciences* **20(9)** : 23-27.

Jacoby R, Peukert M, Succurro A, Koprivora A, Kopriva S (2017). The role of soil microorganisms in plant mineral nutrition – Current knowledge and future directions. *Front.Plant Sci* **8** : 1617.

Jalil S, Hayat A, Majeed A, Haider Abbas S, Noman M, Imran Kasana M, Mazhar Hussain M (2017). Residual Effect of Rock Phosphate, Farmyard Manure and Effective Microorganisms on Nutrient Uptake and Yield of Wheat. *Sarhad Journal of Agriculture* **33(2)** : 282-287.

Jwher DhMT, Abd SK, Mohammad AG (2013). The study of using effective microorganisms (EM) on health and performance of broiler chicks. *Iraqi Journal of Veterinary Sciences* **27(2)** : 73-78.

Kehaliew A, Kitaw G, Assefa G, Fekadu D, Wondatir Z (2014). Growth Performance of F1 Friesian X Boran Crossbred Dairy Calves Supplemented with Effective Micro Organism (EM) Fermented Wheat Bran (Bokashi) in the Central Highlands of Ethiopia. *Global Journal of Science Frontier Research : D Agriculture. And Veterinary* **14(9)** : 1-7.

Li WJ, Ni YZh, Umemura H (1995). Effective microorganisms for sustainable animal production in China. *Proceedings of the conference on effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment* 19-21.

Malusa E, Sas-Paszt L, Ciesielska J (2012). Technologies for Beneficial Microorganisms Inocula Used as Biofertilizers. *The Scientific World Journal* **1** : 1-12.

Mayer J, Scheid S, Widmer F, Fließbach A, Oberholzer HR (2010). How effective are ‘Effective microorganisms (EM)’? Results from a field study in temperate climate. *Applied Soil Ecology* **1435** : 1-10.

Megali L, Schlau B, Rasmann S (2015). Soil microbial inoculation increases corn yield and insect attack. *Agronomy for Sustainable Development* **35** : 1511–1519.

Mohammed AK (2014). Effect of Effective Microbes, Chemical Fertilizer and Compost on Growth, Physical Properties of Corn (*Zea Mays*) and Soil Quality. Thèse de l’Universiti Teknologi Malaysia – UTM, Malaisie. 95pp.

Nibo B (2003). Milk yield performance of crossbred dairy cows in Ethiopia: A review. *Global Journal of Animal Breeding and Genetics* **11(1)** : 1-9.

Olle M, Williams IH (2013). Effective microorganisms and their influence on vegetable production—a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* **88(4)** : 380-386.

Raghad SM, Ali SF, Shaimaa AY, Ibrahim BR, Munawar I, Saba A, Umer Y (2017). Impact of effective microorganisms actuate (EMa) on development of Barley, Corn and Chard plants. *Current Science Perspectives* **3(1)** : 60-66.

Safalaoh ACL, Smith GA (2001). Effective microorganisms (EM) as an alternative to antibiotics in broiler diets : Effect on broiler growth performance, feed utilization and serum cholesterol. Departement of Animal and Wildlife Sciences. University of Pretoria. 6pp.

Schlatter D, Kinkel L, Thomashow L, Weller D, Paulitz T (2017). Disease suppressive soils : new insights from the soil microbiome. *Phytopathology* **107(11)** : 1284-1297.

Stoate C, Boatman ND, Borralho RJ, Carvalho CR, de Snoo GR, Eden P (2001). Ecological impacts of arable intensification in Europe. *Journal of Environmental Management* **63(4)** : 337–365.

Talaat NB (2014). Effective microorganisms enhance the scavenging capacity of the ascorbate–glutathione cycle in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants grown in salty soils. *Plant Physiology and Biochemistry* **80** : 136–143.

Talaat NB, Ghoniem E, Abdelhamid M, Shawky BT (2015). Effective microorganisms improve growth performance, alter nutrients acquisition and induce compatible solutes accumulation in

common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants subjected to salinity stress. *Plant Growth Regulation* **75** : 281–295.

Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R, Polasky S (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* **418(6898)** : 671–677.

Vitousek PM, Mooney HA, Lubchenco J, Melillo JM (1997). Human domination of earth's ecosystems. *Science* **277(5325)** : 494–499.

Xu Hui-Lian (2001). Effects of a Microbial Inoculant and Organic Fertilizers on the Growth, Photosynthesis and Yield of Sweet Corn. *Journal of Crop Production* **3(1)** : 183-214.

Younas T, Umer M, Husnain Gondal A, Aziz H, Khan MS, Jabbar A, Shahzad H, Panduro-Tenazoa N, Jamil M, Ore Areche F (2002). A comprehensive review on impact of microorganisms on soil and plant. *Journal of Bioresource Management* **9(2)** : 109-118.

Yuan Y, Zhou S, Xu N, Zhuang L (2011). Microorganism-immobilized carbon nanoparticle anode for microbial fuel cells based on direct electron transfer. *Applied microbiology and biotechnology* **89(5)** : 1629-1635.

Webographie

Agriculture de conservation, Qu'est-ce que le strip-till ? <https://agriculture-de-conservation.com/QU-EST-CE-QUE-LE-STRIP-TILL.html> (consulté le 10 janvier 2025).

Bayer-agri, La filière maïs est indispensable à la souveraineté alimentaire de la France. https://www.bayer-agri.fr/cultures/la-filiere-mais-est-indispensable-a-la-souverainete-alimentaire-de-la-france_5587/ (consulté le 19 janvier 2025).

Confédération paysanne, l'extrait fermenté d'ortie. <https://www.confederationpaysanne.fr/extra/pnpp/FP-extrait-fermente-ortie.pdf> (consulté le 16 décembre 2024).

EM e.V. Société pour la promotion des micro-organismes régénératifs, L'appui des EM sur une ferme arable. <https://emev.de/ackerbaubetrieb-setzt-auf-em/> (consulté le 15 janvier 2025).

EMRO EM Research Organization. <https://emrojapan.com/what/> (consulté le 8 octobre 2024).

Le monde, micro-organismes efficaces ou EM : faut-il les utiliser au jardin ?
<https://jardinage.lemonde.fr/dossier-4293-utiliser-micro-organismes-efficaces-jardin.html> (consulté le 28 novembre 2024).

TEMA Agriculture et terroirs, Cultivar Grandes cultures - Des micro-organismes efficaces au service du sol. <https://www.tema-agriculture-terroirs.fr/cultivar-grandes-cultures/cultures/des-micro-organismes-efficaces-au-service-du-sol-865789.php> (consulté le 28 novembre 2024).

Triple Performance, Micro-organismes Efficaces (EM).
[https://wiki.tripleperformance.fr/wiki/Micro-organismes_Efficaces_\(EM\)](https://wiki.tripleperformance.fr/wiki/Micro-organismes_Efficaces_(EM)) (consulté le 12 janvier 2025).

PCAC : Pôle de Connaissances pour l'Agriculture Biologique et Agroécologie en Afrique Centrale, Cameroun : Procédés de fabrication des EM <https://pcac-khca.org/cameroun-procedes-de-fabrication-des-em-micro-organismes/> (consulté le 12 janvier 2025).

Dans un contexte d'évolution des pratiques agricoles vers une agriculture plus durable avec des méthodes plus respectueuses de l'environnement, les microorganismes efficaces se présentent comme une alternative à l'utilisation des fertilisants chimiques et produits phytosanitaires. Des solutions commerciales sont développées et étendues dans le monde entier tandis que des préparations artisanales sont mises en place localement. Les EM améliorent la structure, l'agrégation des particules et la disponibilité en nutriments du sol. Ils favorisent la croissance, la floraison, la fructification et la maturation des fruits grâce à leurs composés hormonaux. Les microorganismes efficaces améliorent la capacité photosynthétique en encourageant la croissance foliaire et en améliorant les apports en nutriments des plantes. De plus, la résistance au stress des plantes est renforcée par les EM et ceux-ci peuvent limiter le développement et l'impact des ravageurs et maladies via leurs composés antibiotiques et hormonaux. En élevage, les EM peuvent être utilisés sur les prairies et dans les ensilages. Ils offrent aux animaux une meilleure digestion et absorption des nutriments et aident à lutter contre la mortalité des jeunes en jouant un rôle immunostimulant ce qui limite l'utilisation des antibiotiques et autres médicaments. En conclusion, les microorganismes efficaces offrent aux agriculteurs l'opportunité de réduire l'impact d'une agriculture conventionnelle sur l'environnement.

Mots clés : Microorganismes, agriculture, sol, élevage, durabilité

As agricultural practices evolve towards more sustainable, environmentally-friendly farming methods, effective microorganisms are emerging as an alternative to chemical fertilizers and plant protection products. Commercial solutions are being developed and extended worldwide, while artisanal preparations are being implemented locally. EMs improve soil structure, particle aggregation and nutrient availability. They promote fruit growth, flowering, fruiting and ripening thanks to their hormonal compounds. Effective microorganisms improve photosynthetic capacity by encouraging leaf growth and enhancing plant nutrient supply. In addition, plant stress resistance is enhanced by EMs, and they can limit the development and impact of pests and diseases via their antibiotic and hormonal compounds. In animal husbandry, EMs can be used on meadows and in silage. They provide better digestion and nutrient absorption to animals, and help combat mortality in young animals by playing an immunostimulant role, thus limiting the use of antibiotics and other drugs. In conclusion, efficient microorganisms offer the opportunity to reduce the impact of conventional agriculture on the environment.

Key words : Microorganisms, agriculture, soil, animal husbandry, sustainability