

## **LISTE DES AVREVIATIONS**

**AMPTSII** : Automatic Methane Potential Test System

**ANOVA** : Analyse de Variance

**BIOPASS** : Laboratoire commun de Biologie des Populations et écologie des communautés Animales des écosystèmes naturels et Anthropisés Sahélo-Soudaniens

**BV** : Biologie Végétale

**CH<sub>4</sub>** : Méthane

**CIRAD** : Centre de coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement

**EM** : Micro-organismes Efficaces

**GLM** : Generalized Linear Model (Modèle linéaire généralisé)

**LAMA** : Laboratoire des Moyens Analytiques

**LSD** : Least Significant Difference

**LMI-IESOL** : Laboratoire Mixte International- Intensification Ecologique des Sols Cultivés en Afrique de l'Ouest

**MAB** : Micro-organismes Autochtones Bénéfiques

**MLIQ** : Mère liquide

**MO** : Matière Organique

**MS** : Matière Sèche

**MSOL** : Mère solide

**PNB** : Programme National de Biogaz

**UCAD** : Université Cheikh Anta Diop de Dakar

## RÉSUMÉ

Les produits à base de micro-organismes autochtones bénéfiques (MAB) sont utilisés depuis longtemps en agriculture pour améliorer le rendement des cultures, mais aussi en lutte biologique pour limiter les dégâts des ravageurs et combattre les pathogènes telluriques. Ils sont utilisés aussi pour faciliter la dégradation de la matière organique et optimiser la production de méthane. Au Sénégal, les MAB constituent une nouvelle technologie potentielle pour améliorer la physiologie des plantes et la protection des cultures. Notre étude a pour objectif de rechercher au laboratoire l'intérêt de 15 solutions fermentées à base de litière de sol (i) sur la physiologie des plantes, (ii) sur la protection contre les ravageurs, (iii) et sur la méthanisation. L'impact sur la physiologie des plantes a été évalué en mesurant la germination et la vigueur des plants de maïs, de niébé, de tomate et d'oignon. L'impact sur les ravageurs a été évalué sur *Plutella xylostella* et *Lipaphis erysimi* et la méthanisation sur le potentiel méthanogène des fèces d'animaux. Les résultats ont montré que certaines solutions permettent d'améliorer la vigueur des jeunes plants mais n'ont pas d'effet significatif sur la germination. En outre, elles ont permis de limiter la reproduction de *L. erysimi* mais n'ont pas affecté la survie de *P. xylostella*. Enfin, les MAB ont globalement permis une légère amélioration de la production de biogaz des déchets d'animaux testés. Ces résultats montrent que l'utilisation des MAB pourrait être bénéfique aux paysans pour relever le défi de l'agriculture durable. Cependant d'autres études doivent être conduites afin d'améliorer les connaissances sur la composition des solutions et les mécanismes en jeu.

**Mots clés :** Micro-organismes Autochtones Bénéfiques (MAB), litière, substrat, vigueur, germination, *L. erysimi*, *P. xylostella*, matière organique (MO), potentiel méthanogène.

## ABSTRACT

Products based on beneficial indigenous micro-organisms (MABs) have long been used in agriculture to improve crop yields, but also in biological control to limit pest damage and control soil borne pathogens. They are also used in to facilitate the degradation of organic matter and optimize methane production. In Senegal, MABs are a potential new technology to improve plant physiology and crop protection. The objective of our study is to investigate in the laboratory the interest of 15 fermented solutions made with soil litter (i) on plant physiology, (ii) on protection against pests, (iii) on the methanization of livestock manure. The impact on plant physiology was assessed by measuring the germination and vigour of maize, cowpea, tomato and onion plants. The impact on pests was assessed on *Plutella xylostella* and *Lipaphis erysimi*, and methanization on the methanogenic potential of animal faeces. The results showed that some solutions improve seedling vigour but do not have a significant effect on germination. Then, they limited the reproduction of *L. erysimi* but did not affect the mortality of *P. xylostella*. Finally, MABs have resulted in a slight overall improvement in the production of biogas from animal waste tested. These results show that the use of MABs could be useful to farmers in meeting the challenge of sustainable agriculture. However, further studies are needed to improve knowledge about solution composition and the mechanisms involved.

**Key words:** Beneficial Indigenous Micro-organisms, litter, substrate, vigour, germination,

*L. erysimi*, *P. xylostella*, organic matter, methanogenic potential.

## INTRODUCTION

L'utilisation importante et toujours croissante de produits de synthèse pour la production végétale impacte négativement la santé humaine et l'environnement (Cissé et *al.* 2003) et doit être remplacée par des méthodes agro-écologiques de production. Les pesticides chimiques favorisent la résistance des ravageurs et maladies entraînant des surcoûts de production. L'agriculture sénégalaise utilise en moyenne 598 tonnes de pesticides solides et 1 336 560 litres de pesticides liquides pour une valeur de près de 10 milliards de francs CFA par an (Ngom et *al.* 2012). Malgré leur efficacité dans certains cas, ces produits mettent en péril la durabilité des systèmes de culture. Cette pratique conventionnelle peut être substituée par des bioproduits tels que les biostimulants (produits activant une réaction biologique) d'origine biologique et durable. Les MAB (Micro-organismes Autochtones Bénéfiques) sont la base d'un bioproduit composé d'une culture mixte de micro-organismes utiles d'origine naturelle et physiologiquement compatible les uns avec les autres (Esquijerosa et *al.* 2018). Ce bioproduit compte des milliers d'espèces telles que des bactéries photosynthétiques, des bactéries acido-lactiques, des actinomycètes, des levures et des champignons décomposeurs (Daly & Stewart 1999 ; Esquijerosa et *al.* 2018). Sa fabrication nécessite la mise en fermentation selon un protocole précis de litière du sol afin d'en sélectionner et multiplier les micro-organismes utiles qui y sont potentiellement présents. L'objet de cette étude est l'évaluation de 15 bioproduits à base de micro-organismes provenant de litières autochtones dont on teste l'hypothèse qu'ils sont bénéfiques. Ces litières ont été collectées dans quatre zones différentes (Saint Louis, Nord bassin arachidier, Sud bassin arachidier, Dakar) selon un gradient Nord-Sud pour évaluer la répétabilité des résultats donnés par ce bioproduit lorsque les litières utilisées varient. Pour cela, des expériences permettant d'acquérir des références sur l'effet des MAB dans le contexte du Sénégal ont été mises en œuvre. Le document est organisé en trois parties. La première est consacrée aux MAB et leur interaction. Dans une seconde partie, le matériel et les méthodes mobilisés pour tester l'effet des bioproduits ont été décrits. Les résultats ont été ensuite présentés et discutés. Le document se termine par une conclusion et des perspectives à l'étude.

## CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

### I. Généralités sur les micro-organismes

Les micro-organismes sont des bactéries, des levures et des champignons microscopiques, cosmopolites et constituent des éléments essentiels dans l'équilibre des écosystèmes (Daly & Stewart, 1999 ; Pazos-Rojas et al. 2016 ; Megaliet al. 2014). Ils transforment dans le sol les éléments minéraux, les matières organiques en nutriments assimilables par les plantes. Selon Boultareau et al. (2018), la taille des bactéries est comprise entre 0,2µm et 2µm et celle des levures est entre 2µm et 8µm. Les interactions entre les micro-organismes sont nombreuses et très intenses. Il s'agit du commensalisme, du mutualisme, de l'antagonisme, de la compétition etc. Selon Aouar (2012), chez les micro-organismes, le commensalisme est une association biologique dans laquelle certains organismes dégradent ou neutralisent des substances toxiques favorisant ainsi la croissance des autres. Le mutualisme ou symbiose est une association mutuellement avantageuse. L'antagonisme désigne une inhibition ou une action défavorable d'un organisme vis-à-vis d'un autre à l'intérieur d'une population microbienne mixte. La compétition entre deux ou plusieurs micro-organismes concerne soit les éléments nutritifs, l'espace ou les autres facteurs environnementaux qui deviennent limitatifs pour leur croissance. L'utilisation de certaines de ces interactions permet le développement d'outil de lutte biologique en sélectionnant grâce à ces interactions des micro-organismes autochtones bénéfiques.

#### 1. Les micro-organismes autochtones bénéfiques (MAB)

Les produits efficaces à base de micro-organismes constituent une culture mixte de micro-organismes utiles d'origine naturelle et physiologiquement compatibles les uns avec les autres. Il s'agit des bactéries photosynthétiques, des bactéries acido-lactiques, des actinomycètes, des levures, des champignons décomposeurs qui réalisent des fonctions complémentaires permettant la diversité microbienne des sols et des plantes (Higa, 1994). Certains préfèrent le terme de Bokashiou litières forestières fermentées (Esquijerosa et al. 2018) et les définissent comme un mélange de micro-organismes aérobies et anaérobies bénéfiques présents dans la nature (litière forestière) avec des milliers d'espèces. Concentrés ils peuvent servir d'inoculum pour plusieurs usages (favoriser la biodiversité des sols, bio-stimulant, fertilisation, effet entomopathogène, potentiel méthanogène, etc.) (Esquijerosa et al. 2018 ; Desfontaines et al. 2018 ; Higa, 1994).

#### 2. Les précurseurs

Selon Desfontaines et al. (2018), la terminologie relative aux produits de stimulation est évolutive et diversifiée. Il regroupe des produits stimulants biogéniques, des stimulateurs métaboliques, des

régulateurs de croissance des plantes, des éliciteurs, des phytostimulants, des biofertilisants, etc. L'utilisation des micro-organismes effectifs (EMRO®) a été mise au point par Dr. Teruo Higa professeur d'horticulture de Ryukyus à Okinowa au Japon dans les années 80 (Suárez et al.2017; Hernández & Martín, 2012). Cette méthode est actuellement diffusée et utilisée en milieu paysan un peu partout dans le monde (Afrique du Sud, Chine, Inde, Cuba, Brésil etc).

### 3. Les étapes de production des MAB

La préparation des MAB se déroule en trois phases : (i) collecte des matières premières, (ii) préparation de la mère solide et (iii) activation en mère liquide. Selon Félix (2015), les constituants de la matière première sont une litière peu perturbée, une source de sucre facilement fermentable, une source de sucre complexe (l'amidon), une source de lactobacilles et de l'eau. Certains utilisent la litière de la forêt, d'autres préfèrent la litière de la végétation spontanée pour privilégier les micro-organismes adaptés au milieu. La litière est choisie en fonction de l'état de sa décomposition, non polluée, et présentant des mycéliums. Le sucre simple fournit de l'énergie aux micro-organismes, les glucides assurent leur survie. Le lait est utilisé comme source de lactobacilles et l'eau permet de garder l'humidité de la mère solide mais aussi sert de moyen de dispersion pour la mère liquide. Après collecte des matières premières, tous les ingrédients sont mélangés puis laissés à fermenter dans un milieu anaérobie (tableau 1) afin obtenir la mère solide (Félix, 2015) après 21 à 40 jours selon les conditions du milieu.

Tableau 1 : Composition des différentes préparations de mères solides en fonction du milieu.

Matière première	<i>IHplus</i> , EEPFIH, Cuba (Blanco & García, 2010)	Université de Sancti Spiritus, Cuba (Olivera et al., 2014a)	Omar Gonzáles, Cárdenas, Cuba	Canada (Olivera et al., 2014b)	<i>Microben</i> Costa Rica
Litière	30 Kg	30 Kg	1 sac (≈ 15 Kg)	30 Kg	15 Kg
Source de sucres rapides	10 L de mélasse	10 L de mélasse	2 L de mélasse ou 5 L de jus de canne	10 L de mélasse	4 L de mélasse
Source d'amidon et de fibres	46 Kg de semoule de riz	46 Kg de semoule de riz	3 Kg de semoule de riz et 20 kg de canne à sucre moulue	40 Kg de farine de blé complet	30 Kg de semoule de riz
Source de lactobacilles	10 L de petit lait	10 L de petit lait	1 L de lait ou yaourt	10 L de yaourt Bio	4 L de petit lait
Eau	Selon l'épreuve du poing		7 à 10 L, selon l'épreuve du poing	Selon l'épreuve du poing	16 L

Une partie de cette mère solide est à nouveau mélangée avec la source de lactobacilles, de la mélasse et de l'eau puis laissée à fermenter hermétiquement (tableau 2) pour constituer la mère

liquide. Le bioproduit obtenu a une couleur caramel, une odeur d'alcool de vin et un pH compris entre 3,2 et 3,6 (Esquijerosa et al. 2018).

Tableau 2 : Composition des différentes préparations de mères liquides en fonction du milieu.

Matière première	Manuel de fabrication d' <i>IHplus</i> EEPFIH, Cuba (Blanco & García, 2010)	Université de Sancti Spiritus, Cuba (Olivera et al., 2014a)	Omar Gonzáles (Cárdenas, Cuba)	<i>Micro-Ben</i> Costa Rica (1)	<i>Micro-Ben</i> Costa Rica (2)
Volume du récipient	200L	100 L	50 L	20 L	200 L
EM Solide	10 Kg	5 Kg	2,5 Kg	3 Kg	25 Kg
Mélasse	10 L	5 L	1,5 L	0,5 L	20 L
Petit lait ou substituts	10 L	5 L	1 L	0,5 L	20 L
Eau	Jusqu'à remplir le récipient			16 L	140 L

#### 4. Le milieu de vie des micro-organismes et les relations avec l'écosystème

Le sol est considéré comme une ressource vitale, non renouvelable, qu'il convient de préserver. Les micro-organismes vivants dans le sol sont en général les champignons (organismes pluricellulaires parfois unicellulaires, et hétérotrophes), les bactéries (organismes unicellulaires aérobies ou anaérobies), et les nématodes. Ils font partie intégrante du système sol et participent à la formation et à l'évolution des sols. La plante nourrit les bactéries, les champignons et les autres espèces microbiennes en leur fournissant de la matière carbonée synthétisée (exsudats racinaires), et en échange, les micro-organismes sécrètent des enzymes, des acides organiques, des antibiotiques, des hormones et d'autres substances qui facilitent la minéralisation de la matière organique. Selon Félix (2015), les micro-organismes du sol peuvent être regroupés en deux types : les décomposeurs et les micro-organismes synthétiques dont certains fixent l'azote atmosphérique (les rhizobiums) et d'autres fixent le carbone atmosphérique (les photosynthétiques). La décomposition aérobie permet l'oxydation complète du substrat et l'émission de grandes quantités d'énergie aboutissant à la production du dioxyde de carbone et de l'eau.

#### 5. Les formes de dispersion et durée de reproduction des micro-organismes

L'eau, le vent, les insectes pollinisateurs, les outils agricoles sont les principaux facteurs de dissémination des micro-organismes. Ceci leur permet de coloniser un large territoire malgré leur petite taille et leur faible capacité de dispersion active. Les bactéries se multiplient par mitose et la reproduction chez les levures se fait par bourgeonnement. Les champignons peuvent se reproduire de manière asexuée et sexuée selon l'espèce et le milieu. Selon Boultareau et al. (2018), certaines

bactéries se reproduisent toutes les 20 minutes alors que chez certaines levures, la multiplication se fait toutes les deux heures.

## **II. Le rôle des micro-organismes pour l'agriculture**

Les communautés microbiennes telluriques jouent un rôle primordial dans les cycles biogéochimiques du carbone, de l'azote et d'autres éléments. Elles exercent également des effets bénéfiques ou délétères sur la croissance et la santé des plantes. Les micro-organismes bénéfiques peuvent présenter des atouts pour l'agriculture. Leurs activités peuvent augmenter le rendement ainsi que la qualité post-récolte des produits, la capacité photosynthétique via un développement foliaire plus important, réduire les insectes et maladies via l'induction de résistance systémique chez la plante, contrôler des micro-organismes pathogènes (compétition), accroître la biodiversité microbienne. Selon Desfontaines et *al.* (2018), une approche alternative relativement innovante est le recours aux biofertilisants, des mélanges concentrés de micro-organismes qui, intégrés avec les précautions requises dans les systèmes de culture, permettent d'optimiser les processus biologiques du sol et physiologiques des plantes. La technologie des micro-organismes efficaces se base sur deux piliers : la fermentation et le principe de dominance. Le monde des micro-organismes est constitué de différents groupes : un groupe de micro-organismes efficaces, un groupe de micro-organismes destructeurs et un groupe d'opportunistes (Baillière, 2015). Si les micro-organismes efficaces dominent, ils exercent une influence positive et suppriment les maladies aussi bien dans le sol que dans l'air et l'eau. Ceci profitera aux plantes et aux cultures agricoles.

### **1. Sur la germination et la croissance des plantes**

Les micro-organismes associés aux plantes remplissent des fonctions importantes pour la croissance et la santé des plantes. La promotion directe de la croissance des plantes par les micro-organismes repose sur une meilleure acquisition des nutriments et une stimulation hormonale (Berg, 2009). La microflore saprophyte de la rhizosphère comprend à la fois des éléments nuisibles et bénéfiques qui ont le potentiel d'influencer de manière significative la croissance des plantes et les rendements des cultures. Leurs activités délétères incluent des modifications de l'approvisionnement en eau, en ions et en substances végétales. Selon Daly & Stewart(1999) et Megaliet *al.* (2014), ils produisent des substances oxydantes et des radicaux libres (oxygène agressif) provoquant des maladies ou la sensibilité aux ravageurs. Au contraire, les mécanismes par lesquels les micro-organismes non-symbiotiques bénéfiques influencent positivement la croissance des plantes incluent la promotion de l'absorption de substances

nutritives minérales et surtout la suppression des micro-organismes nuisibles dans la rhizosphère. Les rhizobactéries bénéfiques, par contre, favorisent la croissance des plantes par compétition pour le fer avec des micro-organismes nuisibles à la rhizosphère (Schippers et *al.* 1987). Les micro-organismes stimulés par les exsudats racinaires peuvent agir directement sur la plante en mettant à sa disposition des phytohormones, des vitamines ou des molécules organiques absorbables par les racines ou bien indirectement en améliorant sa nutrition minérale par solubilisation ou minéralisation de certains éléments (Aouar, 2012).

#### **a. Via le prélèvement des éléments nutritifs du sol par les racines**

La fertilité minérale des sols peut être définie comme la capacité d'un sol à fournir les éléments minéraux permettant d'assurer durablement la productivité primaire d'un agroécosystème. Elle dépend également des réserves en matières organiques dissoutes et extractibles des éléments (azote, phosphore et soufre) lesquels sont majoritairement présents sous forme organique. Ces réserves qui résultent de la première étape de décomposition de la matière organique du sol seront mises à disposition de la plante après minéralisation (Amiaud & Carrère, 2012). L'azote est présent à plus de 90% sous forme organique dans le sol. Sa transformation en azote minéral (minéralisation) et réciproquement est assurée par l'activité des micro-organismes qui vont déterminer en grande partie la disponibilité de la forme minérale assimilable par la plante. Ces derniers assurent également d'autres transformations de l'azote tant pour la nutrition du couvert végétal que pour l'environnement (nitrification, dénitrification). Dans la rhizosphère, les micro-organismes sont largement stimulés par la rhizodéposition c'est-à-dire la matière organique d'origine racinaire retrouvée dans le sol. En effet, une fois libérés par les racines, les rhizodépôts vont être consommés par les micro-organismes, induisant ainsi des modifications de la minéralisation et de l'organisation de l'azote rhizosphérique (Nguyen, 2007). Selon Nawel (2014) les fertilisants phosphatés sont peu efficaces sans la présence de micro-organismes dans le sol. Ce phénomène est souvent lié aux oxydes libres et les hydroxydes d'aluminium et de fer qui fixent le phosphate dans les sols acides et au calcium dans les sols alcalins.

#### **b. Par le prélèvement des éléments nutritifs atmosphériques par les feuilles**

Les bactéries phytostimulatrices, comme celles du genre *Azospirillum*, stimulent la croissance des plantes hôtes en fixant l'azote atmosphérique. La bactérie transfère ensuite l'azote sous des formes assimilables par la plante qui synthétise des phytohormones indispensables à leur bon fonctionnement (Lemanceau, 1992; Walker, 2010; M'sadak & Ben M'barek, 2017; Boisvert, 2014). Cette association plante-micro-organisme facilite aussi la solubilisation du phosphate et rend le fer disponible grâce aux sidérophores des bactéries.

Les endophytes (organismes qui accomplissent tout ou une partie de leur cycle de vie à l'intérieur d'une plante) ont la capacité de synthétiser et de diffuser les riboflavines (une vitamine hydrosoluble indispensable au bon fonctionnement de l'organisme) et autres vitamines qui peuvent favoriser la croissance des plantes (Nawel, 2014).

## 2. Sur la protection contre les bioagresseurs

### a. Contre les micro-organismes pathogènes

Les maladies phytopathogènes réduisent de 12 à 14% la production agricole mondiale (Aouar, 2012). Certaines bactéries sont recensées comme étant des agents pathogènes des plantes tels que *Erwinia spp*, *Agrobacterium tumefaciens* et *Streptomyces scabies*. Les micro-organismes antagonistes sont d'ores et déjà utilisés pour réduire une population de pathogène. Leur capacité à coloniser la rhizosphère et les racines des plantes, à entrer en compétition avec les micro-organismes phytopathogènes et à former des spores adaptées pour la formulation de produits stables, en font des agents majeurs du biocontrôle. Pour Walker (2010), Boisvert (2014) et Shirley (2016) la protection induite par les micro-organismes contre les phytopathogènes repose sur trois mécanismes majeurs, qui sont la rhizocompétence, l'antibiose et la stimulation de la défense des plantes. Certaines souches comme *Pseudomonas* ont la capacité d'inhiber la croissance de pathogènes via la synthèse de sidérophores (chélateurs de fer synthétisés et sécrétés notamment par les micro-organismes pour leur permettre de puiser le fer essentiel à leur développement). Cette compétition pour la ressource en fer ou l'apport de l'acide salicylique (molécule qui participe à la défense de la plante) induit par la bactérie peut conférer à la plante une protection contre les pathogènes (Walker, 2010; Boisvert, 2014; Shirley, 2016).

### b. Contre les arthropodes ravageurs

#### ✚ Le parasitisme

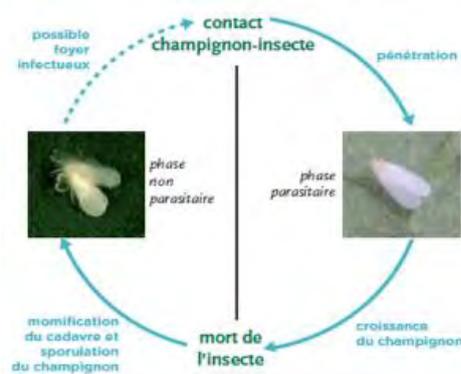


Figure 1 : Développement du champignon sur aleurode.

Des préparations à base de virus, de bactéries et de champignons sont utilisées pour la protection contre les insectes ravageurs.

On connaît une grande diversité de champignons entomopathogènes plus ou moins spécifiques qui infectent les insectes en pénétrant à travers la cuticule. D'après Grogna (2017), *Paecilomyces fumosoroseus* est un champignon qui infecte tous les stades d'aleurodes de même que *Beauveria bassiana* (figure 1).

#### **Toxines produites par les micro-organismes**

Une toxine est une substance toxique fabriquée par un organisme vivant. Les micro-organismes sécrètent des substances qui peuvent être utilisées comme biopesticides. *Bacillus thuringiensis* (Bt) est une bactérie qui produit une endotoxine au moment de sa sporulation. Cette toxine est utilisée pour contrôler les chenilles de plusieurs espèces de papillons de jour et de nuit (noctuelle, piéride) économiquement importants, tels que le ver de la capsule *Heliothis sp*, *Earias spp*, *Spodoptera sp* et *Plutella sp* (Berg, 2009). Pulvérisée sur la plante, elle tue les chenilles qui l'ingèrent après deux à cinq jours. Il a été démontré que la toxine produite par *Saccharopolyspora spinosa* est utilisée par contact ou ingestion (surtout) contre les lépidoptères (Cochylis, Eudémis, Eulia et Pyrale), les diptères (drosophile) et les thysanoptères (thrips). Ce bioproduit d'origine naturelle présente une efficacité comparable aux références des insecticides de synthèse.

#### **Via la plante**

Les champignons endophytes, via leur activité à l'intérieur de la plante, peuvent augmenter la résistance des plantes aux bioagresseurs. Azevedo et al. (2000) ont montré que les champignons endophytes appartenant à la famille Xylariaceae synthétisent des métabolites secondaires chez les hôtes du genre *Fagus* et que ces substances affectent les larves des coléoptères. De même, la chenille *Spodoptera frugiperda* (lépidoptère de la famille des noctuidées) est affectée par des champignons endophytes comme *Balansia cyperi*. Il a été montré que le mode d'action de certains champignons endophytes était basé sur la capacité à rendre la plante désagréable à plusieurs types de parasites comme les pucerons, sauterelles, coléoptères. La production de métabolites de type alcaloïdes par *Acremonium* peut réduire les attaques du scarabée japonais *Popilla japonica*. Pour Daisy et al. (2002), un autre mécanisme d'action des champignons endophytes sur les insectes ravageurs est la répulsion. Les métabolites comme le naphthalène produit par *Muscodor vitigenus* peuvent aussi avoir un effet répulsif.

### 3. Sur le potentiel méthanogène

Le processus de croissance microbienne est un processus endergonique c'est à dire qu'il consomme de l'énergie. Pour obtenir cette énergie, les micro-organismes effectuent des réactions biochimiques d'oxydo-réduction. La méthanogénèse est le processus microbiologique au cours duquel des réactions d'oxydation des composés organiques qui engendrent l'énergie requise par des micro-organismes sont couplées à des réactions de réduction aboutissant finalement à la production de méthane ( $\text{CH}_4$ ).

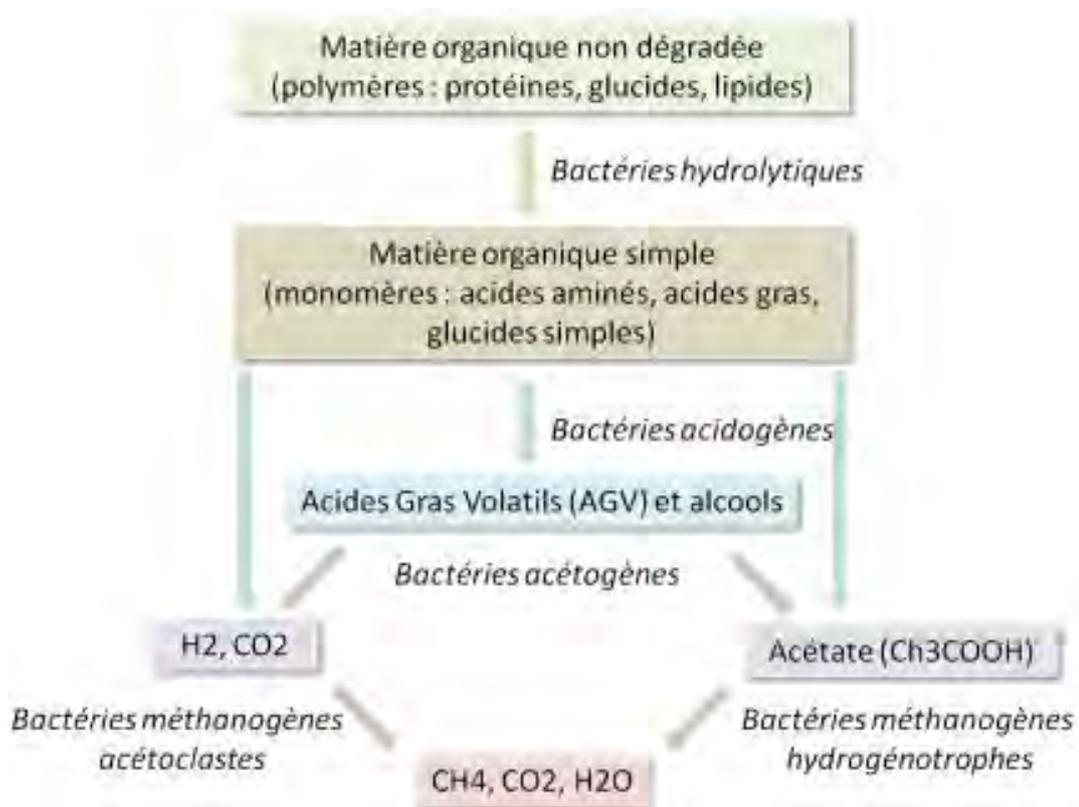


Figure 2 : Processus de la méthanisation.

La biométhanisation permet de transformer la matière organique volatile en énergie grâce aux micro-organismes, en l'absence d'oxygène. Elle vise à transformer le carbone de la matière organique en méthane (M'sadak & Ben M'barek, 2017). Selon Rouille et *al.* (2015) le méthane, gaz à effet de serre, est onze fois plus réchauffant que le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et provient essentiellement de la digestion des ruminants et de la décomposition de la matière organique. Ce gaz peut être valorisé au sein des exploitations grâce à la méthanisation. Le processus de dégradation anaérobie aboutit à la génération de deux principaux sous-produits : de l'énergie sous forme de méthane et des nutriments contenus dans le digestat issu de cette dégradation. Les

bactéries de la méthanisation se distinguent en quatre groupes (les bactéries hydrolytiques, les bactéries de fermentation ou bactéries acidogènes, les bactéries acétogènes, les bactéries méthanogènes) (figure 2) selon la réaction qu'elles entraînent (Delfosse, 2010 ; Chapleur, 2012 ; Rouille et *al.*2015). Ces réactions se succèdent dans le temps pour une molécule, mais à l'échelle d'un méthaniseur, elles ont lieu au même moment.

1. L'hydrolyse est la dégradation des polymères en monomères (molécules simples).
2. L'acidogénèse est la transformation des monomères de l'hydrolyse en acides gras volatiles, alcool, acides organiques, hydrogène et dioxyde de carbone.
3. L'acétogénèse est la formation de l'acétate, l'hydrogène et le gaz carbonique, précurseurs directs du méthane.
4. La méthanogénèse est la transformation des produits de l'acétogénèse en méthane.

Tableau 3 : Le potentiel méthanogène des déchets d'origines animales.

Substrat	CH4 en mL/gMO	Auteurs	Lieu
Fumier de poulet	266	(Fen et <i>al.</i> 2017)	Chine
Fumier de porc	272		
Fumier de bovin	292		
Fumier de cheval	170	(Kusch et al, 2008)	Europe
Lisier de poulet	438	(Achinas	
Lisier de porc	488	&,Euverink, 2016)	
Fumier de bovin	360		
Lisier de porc	516	(Møller et <i>al.</i>	
Lisier de truie	530	2004)	
Lisier de bétail	460		
Fumier de porc	356		
Fumier de truie	275		
Fumier de bovin	148		

Avec CH4 = méthane ; mL/gMO = millilitre par gramme de matière organique

L'utilisation des micro-organismes dans le secteur du traitement des déchets est plus récente et prometteuse. Les déchets d'origines animales possèdent un potentiel méthanogène dépendant de l'origine et du type de substrat (tableau 3).

De nombreuses études montrent que la production potentielle de biogaz est augmentée lorsque les eaux usées domestiques sont inoculées avec des micro-organismes, en Tanzanie et en Egypte par exemple (Maalim et al. 2015 ; Rashed et al. 2014 ; El Monayeri et al. 2013). Aux Etats-Unis, Gates et al. (2014) ont montré que la production de biogaz est avantagée après inoculation d'un consortium de micro-organismes issus de l'horizon A d'un sol forestier sur des déjections de vaches laitières.

### III. Bioécologie des ravageurs étudiés

#### 1. *Plutella xylostella*

*Plutella xylostella*, lépidoptère de la famille des Plutellidae, est le ravageur qui cause le plus de dégâts sur les cultures de chou avec une forte incidence dans la zone sud des Niayes (Labou et al. 2016). La femelle peut pondre de 150 à 300 œufs en fonction de la température, la qualité de la nourriture et la densité de la population (Laurence, 2013). La température est aussi déterminante dans son cycle de développement qui varie de 16 à 30 jours respectivement pour 25°C et 20°C et présente quatre stades larvaires (Labou, 2016 ; Laurence, 2013). A 25°C, l'incubation des œufs se fait en trois jours, le développement larvaire en neuf jours et la nymphose en quatre jours.

#### 2. *Lipaphis erysimi*

Les pucerons appartiennent à l'ordre des Hémiptères et au sous-ordre des Sternorrhyncha. Ils ont la capacité d'alterner la reproduction sexuée et la parthénogénèse à partir d'individus ayant le même fond génétique et font leur cycle en général en 160 heures à 21°C (Rabatel, 2011). Les pucerons se reconnaissent par la présence des antennes (3 à 6 articles), d'un appareil buccal de type piqueur-suceur (phytophage), et le développement larvaire se fait en quatre stades donnant des adultes aptères ou ailés (Sekkat, 2015). La présence de forme ailée dépend de la reproduction, de la disponibilité de la nourriture et de la densité de la population.

*Lipaphis erysimi* ou puceron du navet est caractérisé par ses antennes courtes et se présente sous différentes couleurs : vert, jaunâtre, gris. Il se distingue de *Myzus persicae* par la présence de rayures et les longues antennes chez ce dernier.