

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

I. Résultats

1. Effet des solutions sur la germination et la croissance des plants

a. Maïs

Le nombre de racines est significativement différent de celui du témoin (eau) sur toutes les modalités. Les solutions contenant de la litière ont un impact positif sur le nombre de racines comparé au substrat seul. La litière de Dakar est significativement différente des trois autres litières.

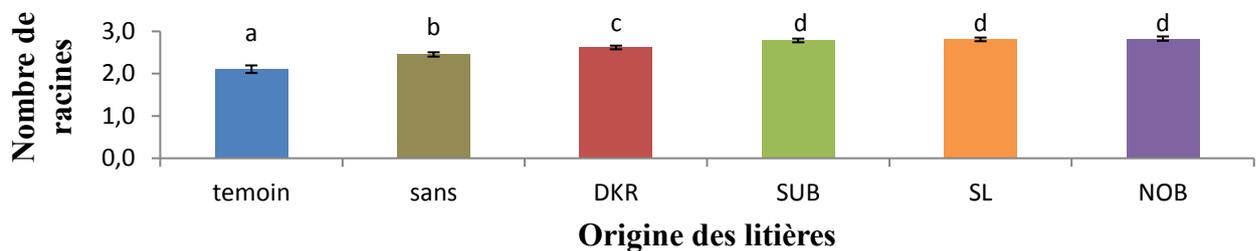


Figure 12 : Nombre de racines moyen des jeunes plants de maïs pour les différentes litières. Les graphes indexés par les mêmes lettres illustrent des valeurs qui ne sont pas significativement différentes. Les barres d'erreur représentent les erreurs standards. DKR, SUB, SL, NOB représentent les différentes zones d'origine de la litière, sans = moyenne des deux substrats sans litière.

Le poids frais des plants est significativement supérieur avec les solutions faites avec du substrat mil-arachide qu'avec celles faites avec du substrat arachide seul. Le mélange mil-arachide a donc un impact positif sur la biomasse comparée au substrat d'arachide seul. Par contre, pour tous les autres substrats, la biomasse aérienne n'est pas significativement différente de celle du témoin (eau).

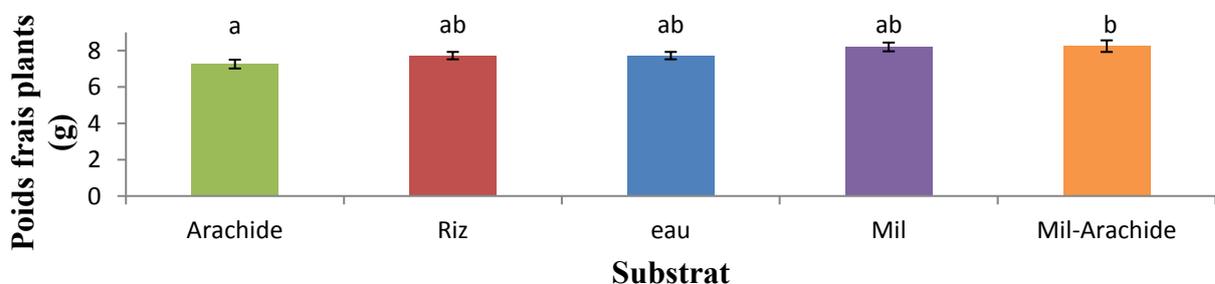


Figure 13 : Poids frais moyen des jeunes plants de maïs pour les différents substrats. Les graphes indexés par les mêmes lettres illustrent des valeurs qui ne sont pas significativement différentes. Les barres d'erreur représentent les erreurs standards.

Les valeurs des variables (hauteur, poids sec des plants) mesurées sont significativement différentes ($P < 5\%$; $df = 18$) de celles du témoin eau sur toutes les modalités. La hauteur moyenne des modalités M4, M12, M10, M8, M14, M18 est largement supérieure de 2,28 cm à 3,14 cm à la hauteur du témoin eau (M19), soit une amélioration de 8,64%. Par contre, les modalités M2, M10, M9, M7, M5 ont un impact négatif sur la biomasse aérienne comparée à celle du témoin eau. Les autres variables mesurées (germination, poids frais racines, poids sec racines) ne présentent pas de différence significative ($P > 5\%$; $df = 18$) comparée à celles du témoin eau.

Tableau 8 : Résultats de l'ANOVA effectuée sur la germination, la hauteur, le nombre de racine, la biomasse racinaire, la biomasse aérienne pour l'ensemble des modalités.

	GER (%)	H (cm)	PFR (g)	PSP (g)	PSR (g)
M1	64a	18,56abc	2,44cd	0,66abcd	0,56cd
M2	76ab	18,38abc	2,23abcd	0,62abcd	0,44abcd
M3	68ab	18,58abc	2,11abc	0,68bcd	0,38abcd
M4	79ab	19,56c	2,11abc	0,64abcd	0,38abcd
M5	81ab	18,38abc	1,95a	0,58abc	0,28a
M6	70ab	18,74bc	2,18abcd	0,74cd	0,46abcd
M7	68ab	18,48abc	2,12abcd	0,46a	0,44abcd
M8	69ab	19,74c	2,11abc	0,58abc	0,34abcd
M9	66a	18,68bc	2,07abc	0,52ab	0,4abc
M10	75ab	19,24c	2,3abcd	0,6abc	0,38abcd
M11	84b	18,4abc	2,52d	0,64abcd	0,58d
M12	65a	19,32c	2,21abcd	0,68bcd	0,38abcd
M13	76ab	17,76abc	2,22abcd	0,74cd	0,42abcd
M14	65a	19,54c	2,11abc	0,8d	0,36abcd
M15	73ab	18,48abc	2,38bcd	0,7bcd	0,42bcd
M16	79ab	18,28abc	2,16abcd	0,74cd	0,42abcd
M17	78ab	17,04ab	2,24abcd	0,72bcd	0,42abcd
M18	67a	19,28c	2,08abc	0,68bcd	0,34abc
M19	72ab	16,6a	2,023ab	0,64abcd	0,32ab
P-value	0,107	0,047	0,106	0,025	0,130

GER : nombre moyen de graine germée par boîte, H : hauteur, PSP : poids sec plant, PFR : poids frais racine, PSR : poids sec racine. Les données du PSP ont été transformées par le test de Box-cox et celles du PSR par la racine carrée pour respecter la normalité des résidus.

b. Le niébé

La biomasse racinaire est significativement différente de celle du témoin eau avec la litière de Nord bassin, du Sud bassin arachidier et du substrat seul. Par contre les litières de Saint Louis et de Dakar n'impactent pas significativement sur la biomasse racinaire comparées au témoin eau.

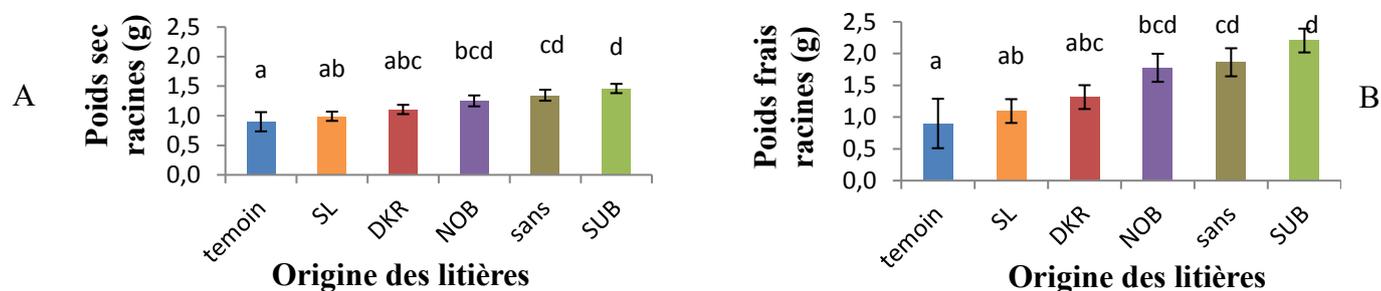


Figure 14: Biomasse racinaire, sèche (A) et fraîche (B), des jeunes plants de niébé pour les différentes litières. Les graphes indexés par les mêmes lettres illustrent des valeurs qui ne sont pas significativement différentes. Les barres d'erreur représentent les erreurs standards. DKR, SUB, SL, NOB représentent les différentes zones d'origine de la litière, sans = moyenne des deux substrats sans litière.

Tableau 9 : Résultats de l'ANOVA effectué sur la germination, la hauteur, le nombre de racine, la biomasse racinaire, la biomasse aérienne pour l'ensemble des modalités.

	GER (%)	H (cm)	NBR	PFP (g)	PSP (g)
M1	63c	6,48bcdef	10,64efgh	6,4efg	0,84g
M2	84abc	6,08def	11,84cdefgh	7,76abcdefg	1,38abcde
M3	71c	4,78fg	9,36fgh	6,02g	1,06cdefg
M4	81abc	5,41fg	19,32ab	7,56bcdefg	1,12bcdefg
M5	79abc	6,80bcdef	16,48abcde	7,76abcdefg	1,36qbcdef
M6	87ab	9,67a	18,52abc	10,38a	1,28abcdefg
M7	70bc	6,22def	8,56gh	6,08fg	1,1cdefg
M8	76bc	8,02abcd	12,92bcdefgh	7,94abcdefg	1,12bcdefg
M9	86ab	9,72a	14,56abcdefg	9,52abcd	1,32abcdefg
M10	89a	9,06ab	16,04abcdef	10,06ab	1,5abc
M11	83abc	7,63abcde	15,08abcdefg	8,78abcde	1,44abcd
M12	83abc	8,86abc	17,72abcd	9,92abc	1,28abcdefg
M13	83abc	6,08def	10,36efgh	7,96abcdefg	0,9efg
M14	85ab	4,30g	11,24defgh	7,26defg	1,34abcdefg
M15	79abc	7,96abcd	14,16abcdefg	8,22abcdefg	1,62ab
M16	83abc	6,47cdef	20,52a	8,1abcdefg	1,76a
M17	81abc	5,17fg	10,8defgh	8,58abcdefg	0,96defg
M18	82abc	6,28cdef	8,88gh	8,66abcdef	1,2bcdefg
M19	79abc	5,32efg	7,12h	7,3cdefg	0,86fg
P-value	0,278	<0,0001	0,002	0,037	0,020

GER : nombre moyen de graine germée par boîte, H : hauteur (cm), NBR : nombre de racine, PFP : poids frais plant (g), PSP : poids sec plant (g). Les données de la GER, de la H ont été transformées respectivement par le test de Box-cox, et au test de Johnson pour qu'elles suivent la loi normale.

Les valeurs des variables mesurées (poids frais et sec des plants, hauteur, nombre de racines) sont significativement différentes ($P < 5\%$) du témoin eau sur toutes les modalités. Le poids frais obtenu pour la modalité M6 est supérieur de trois grammes à celui du témoin eau. Par contre le poids frais de la modalité M3 est inférieur de 1,28 gramme à celui du témoin eau. Soit une réduction de 9,6%. Le nombre de racines sur toutes les modalités est supérieur au témoin eau.

c. La tomate

La hauteur des jeunes plants du témoin eau est significativement différente de celle de la litière du Nord bassin, du Sud bassin, de Saint Louis et du substrat seul. Cependant, celle des plants sur la litière de Dakar n'est pas significativement différente de celle du témoin eau.

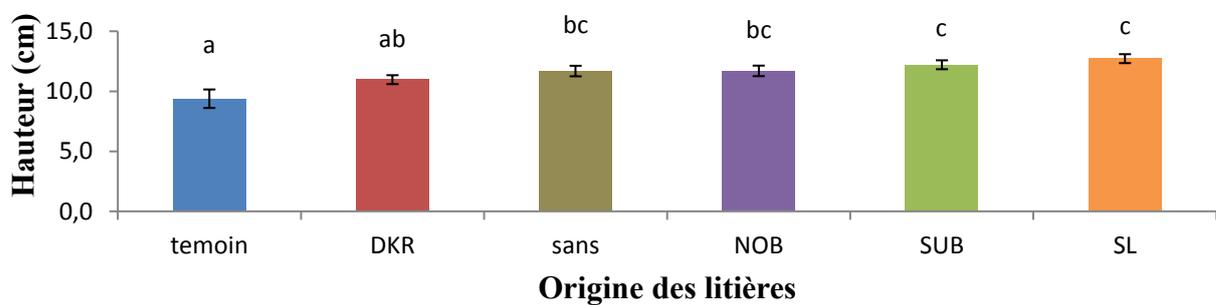


Figure 15: Hauteur moyenne des jeunes plants de tomate pour les différentes litières. Les graphes indexés par les mêmes lettres illustrent des valeurs qui ne sont pas significativement différentes. Les barres d'erreur représentent les erreurs standards. DKR, SUB, SL, NOB représentent les différentes zones d'origine de la litière, sans = moyenne des deux substrats sans litière.

Le nombre de feuilles du témoin eau n'est pas significativement différent de celui des substrats de riz, de mil et du mélange mil-arachide. Par contre, le substrat arachide seul a réduit significativement le nombre de feuilles des plants de tomate par rapport au témoin eau.

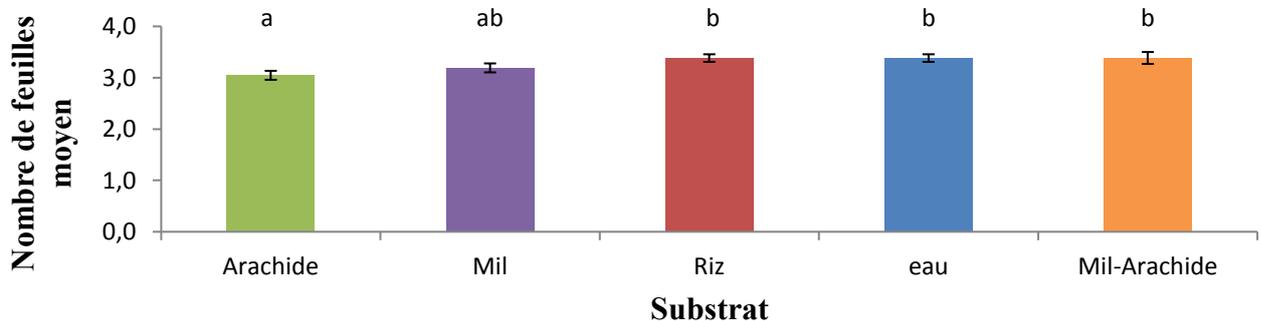


Figure 16: Nombre de feuilles moyen des jeunes plants de tomate pour les différents substrats. Les graphes indexés par les mêmes lettres illustrent des valeurs qui ne sont pas significativement différentes.

Le poids frais des racines pour l'ensemble des litières est significativement différent de celui du témoin eau. La litière de Saint louis et de Nord bassin ont un impact positif sur le poids frais des racines comparé au substrat seul.

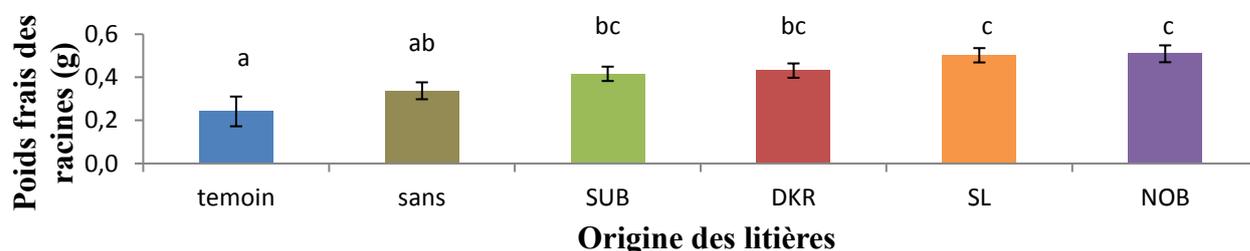


Figure 17 : Poids frais des racines des jeunes plants de tomate pour les différentes litières. Les graphes indexés par les mêmes lettres illustrent des valeurs qui ne sont pas significativement différentes. Les barres d'erreur représentent les erreurs standards. DKR, SUB, SL, NOB représentent les différentes zones d'origine de la litière, sans = moyenne des deux substrats sans litière.

Tableau 10 : Résultats de l'ANOVA effectuée sur la germination, le nombre de racine, le poids sec des racines, la biomasse aérienne pour l'ensemble des modalités.

	GER (%)	NBR	PFp (g)	PSP (g)	PSR (g)
M1	80a	15,2ab	1,37bcd	0,12c	0,04a
M2	90a	13,27a	1abc	0,08abc	0,03a
M3	90a	14,034ab	1,25bcd	0,10abc	0,03a
M4	90a	16,66ab	1,95e	0,167d	0,09b
M5	100a	15,56ab	1,24bcd	0,10abc	0,03a
M6	100a	16,93ab	1,4cde	0,12c	0,05a
M7	100a	15,35ab	0,69a	0,073ab	0,03a
M8	100a	17,96b	1abc	0,09abc	0,03a
M9	90a	17,40ab	0,87ab	0,08abc	0,03a
M10	100a	15,99ab	1,43cde	0,11bc	0,03a
M11	100a	15,06ab	1,38cde	0,1abc	0,03a
M12	100a	17,96b	1,59de	0,11bc	0,04a
M13	100a	16,30ab	1,24bcd	0,01abc	0,03a
M14	90a	16,44ab	1,02abc	0,1abc	0,04a
M15	100a	16,09ab	0,66a	0,06a	0,03a
M16	90a	17,96b	1,31bcd	0,12bc	0,03a
M17	100a	15,99ab	1,11bcd	0,08abc	0,02a
M18	80a	17,64b	1abc	0,09abc	0,02a
M19	100a	15,47ab	0,96abc	0,09abc	0,03a
P-value	0,502	0,334	<0,0001	0,00025	0,002

GER : nombre moyen de graine germée par boîte, NBR : nombre de racine, PFp : poids frais plant (g), PSP : poids sec plant (g), PSR : poids sec racine (g). Les données du PFp ont été transformées à la racine carrée pour respecter la normalité.

La biomasse aérienne et le poids sec des racines de toutes les modalités sont significativement différents ($P < 5\%$; $df = 18$) de ceux notés sur le témoin eau. Les modalités M9, M7, M15 ont un impact négatif sur la biomasse aérienne par rapport au témoin eau.

d. L'oignon

Le taux de germination des graines d'oignon sur la litière de Dakar est significativement inférieur à celui sur le témoin eau. La litière de Nord bassin, de Saint Louis et du Sud bassin ont un taux de germination supérieur à celui du témoin eau.

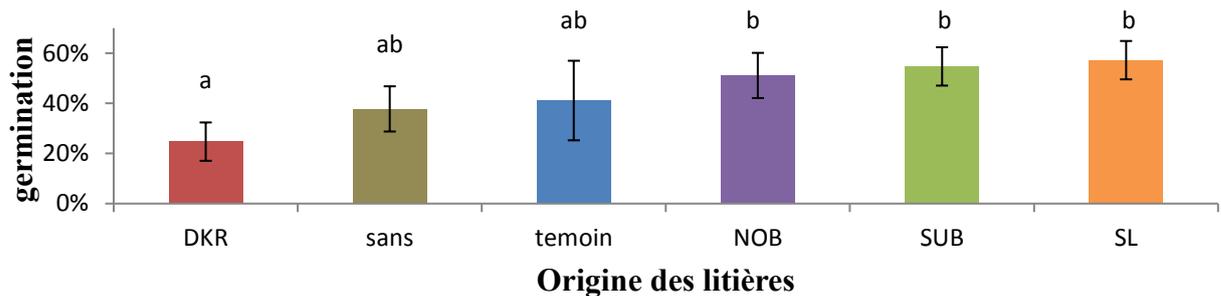


Figure 18: Nombre moyen de graines d'oignon germées pour les différentes litières. Les graphes indexés par les mêmes lettres illustrent des valeurs qui ne sont pas significativement différentes. Les barres d'erreur représentent les erreurs standards. DKR, SUB, SL, NOB représentent les différentes zones d'origine de la litière, sans = moyenne des deux substrats sans litière.

Le taux de germination des graines d'oignon sur le témoin eau est significativement supérieur de celui du substrat d'arachide. Le substrat de mil et le mélange mil- arachide a réduit le taux de germination des graines par rapport au témoin eau. Par contre, le taux de germination n'est pas significativement différent au témoin eau avec le substrat de riz.

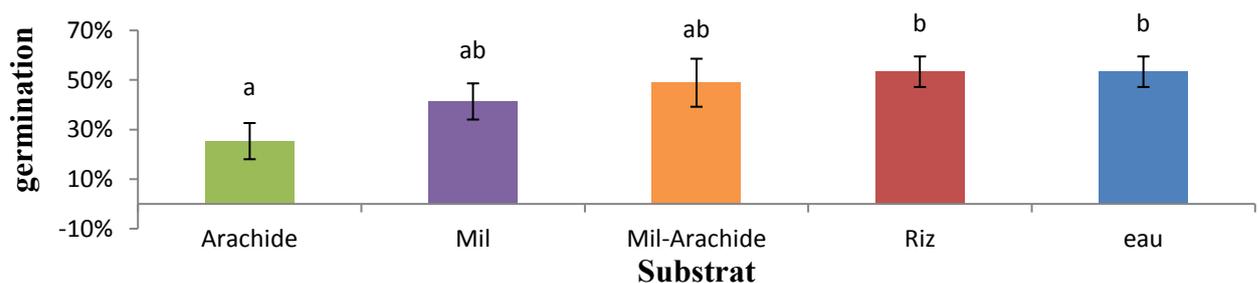


Figure 19: Nombre moyen de graines d'oignon germées pour les différents substrats. Les graphes indexés par les mêmes lettres illustrent des valeurs qui ne sont pas significativement différentes.

Le nombre de feuilles des plants sur le témoin eau est significativement supérieur de celui sur le substrat arachide. Le nombre de feuilles n'est pas significativement différent à celui du témoin eau avec les substrats de riz, de mil et du mélange mil-arachide.

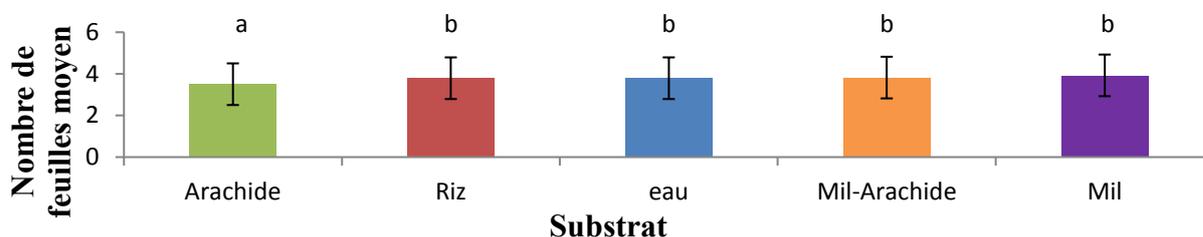


Figure 20: Nombre de feuilles moyen des jeunes plants d'oignon pour les différents substrats. Les graphes indexés par les mêmes lettres illustrent des valeurs qui ne sont pas significativement différentes.

Les valeurs de toutes les variables mesurées sur les différentes modalités (biomasse aérienne et racinaire, hauteur, nombre de racines) ne sont pas significativement différentes ($P > 5\%$; $df = 18$) de celles sur le témoin eau.

Tableau 11 : Résultats de l'ANOVA effectuée sur la hauteur, le nombre de racine, la biomasse racinaire, la biomasse aérienne pour l'ensemble des modalités.

	H (cm)	NBR	PFP (g)	PSP (g)	PFR (g)	PSR (g)
M1	20,82a	14,22a	0,64a	0,04a	0,35a	0,02a
M2	20,02a	13,18a	0,53a	0,03a	0,25a	0,01a
M3	17,82a	9,30a	0,44a	0,03a	0,23a	0,01a
M4	20,05a	13,06a	0,68a	0,04a	0,27a	0,01a
M5	22,06a	14,24a	0,87a	0,05a	0,35a	0,02a
M6	21,26a	15,14a	0,86a	0,05a	0,39a	0,02a
M7	21,1a	13,21a	0,76a	0,05a	0,36a	0,02a
M8	19,4a	11,56a	0,50a	0,03a	0,30a	0,01a
M9	21,74a	14,34a	0,79a	0,04a	0,31a	0,01a
M10	23,65a	15,50a	0,83a	0,05a	0,44a	0,02a
M11	22,3a	14,05a	0,78a	0,05a	0,43a	0,02a
M12	17,65a	14,14a	0,64a	0,04a	0,27a	0,01a
M13	19,56a	13,34a	0,71a	0,04a	0,30a	0,01a
M14	15,1a	11,78a	0,52a	0,03a	0,24a	0,01a
M15	20,7a	13,90a	0,70a	0,04a	0,32a	0,02a
M16	20,91a	12,71a	0,83a	0,05a	0,27a	0,01a
M17	24,8a	14,64a	0,86a	0,05a	0,34a	0,02a
M18	19,03a	13,34a	0,58a	0,04a	0,32a	0,02a
M19	22,38a	12,96a	0,80a	0,05a	0,32a	0,01a
P-value	0,849	0,920	0,810	0,825	0,914	0,853

H : hauteur, NBR : nombre de racine, PFP : poids frais plant, PSP : poids sec plant, PFR : poids frais racine, PSR : poids sec racine. Les données de la hauteur ont été transformées par le test de Box-cox pour respecter la normalité des résidus.

2. Effet des solutions sur les ravageurs

a. Effet direct des solutions sur les ravageurs

Lipaphis erysimi

Le nombre de pucerons vivants du témoin eau est significativement supérieur à toutes les autres modalités cela quel que soit le traitement des solutions ($P < 5\%$) (Test d'ANOVA sur le modèle GLM) (tableau 12). La litière, le substrat et les traitements ont un impact positif sur le nombre de pucerons vivants.

Tableau 12 : Résultats du GLM effectué sur le nombre de pucerons vivants pour l'ensemble des modalités.

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	Pr (>Chi)
NULL	224	752.53			
Litière	2	50.152	222	702.38	1.287e-11***
Substrat	2	35.089	220	667.29	2.401e-08***
Traitement	2	21.792	218	645.49	1.853e-05***

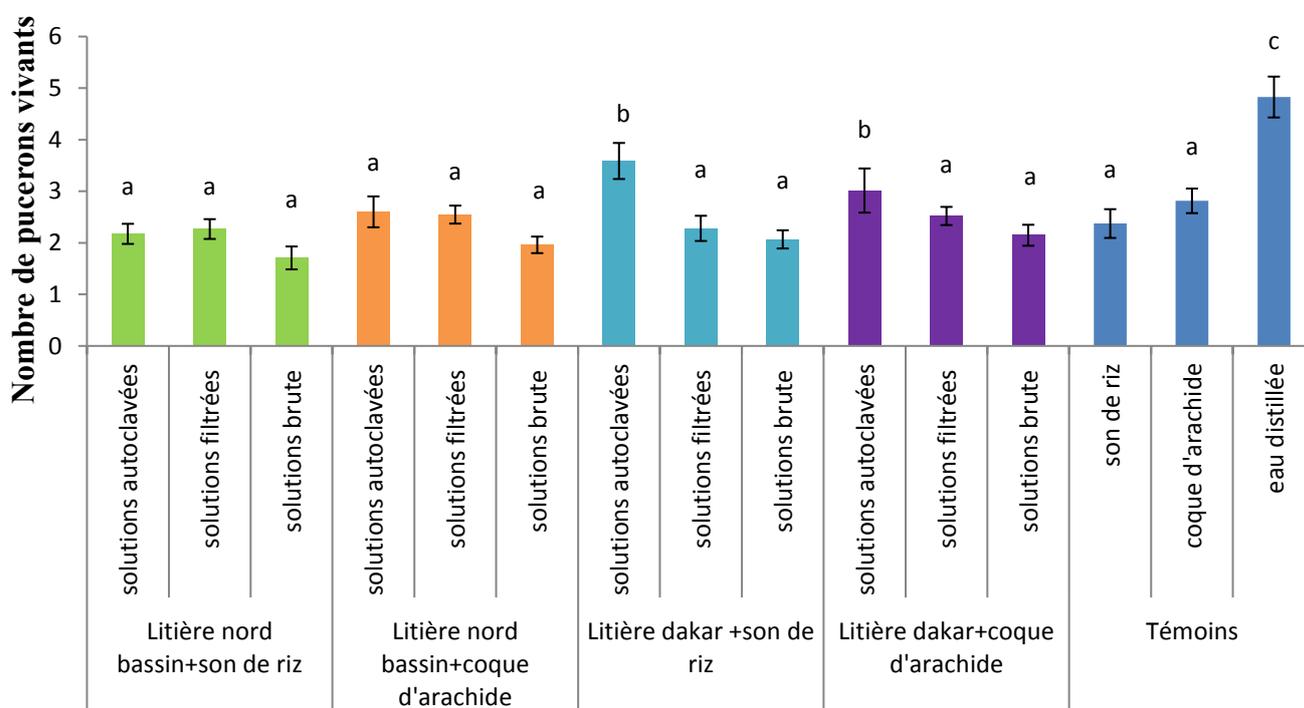


Figure 21: Nombre de pucerons vivants après cinq jours. Les lettres illustrent les différences significatives parmi les différents traitements d'une même solution (litière). Les mêmes lettres montrent qu'il n'y a pas de différence significative des différents traitements par groupe.

Lorsque qu'on compare les différents traitements (autoclavées, filtrées, brutes) d'une même solution, aucune différence significative sur le nombre de pucerons vivants n'est observée pour la solution de la litière du nord bassin quel que soit le substrat (figure 21). Par contre, pour la litière de Dakar, ce nombre est significativement différents entre le traitement autoclavé et les deux autres traitements (filtrées et brutes), quel que soit le substrat. En outre, lorsqu'on compare les quatre solutions brutes (substrat + litière) à leur témoin correspondant de substrat seul, aucune différence significative n'est observée.

Le nombre de pucerons vivants est nettement plus important chez le témoin eau que dans les autres modalités. Initialement trois pucerons avaient été placés par feuille, ce qui signifie que les pucerons se sont reproduits dans le témoin eau. Au contraire dans les autres modalités il y a eu de la mortalité puisque le nombre de pucerons après 5 jours était inférieur au nombre de pucerons de départ. Cette évolution des populations est visible dans la figure 22.

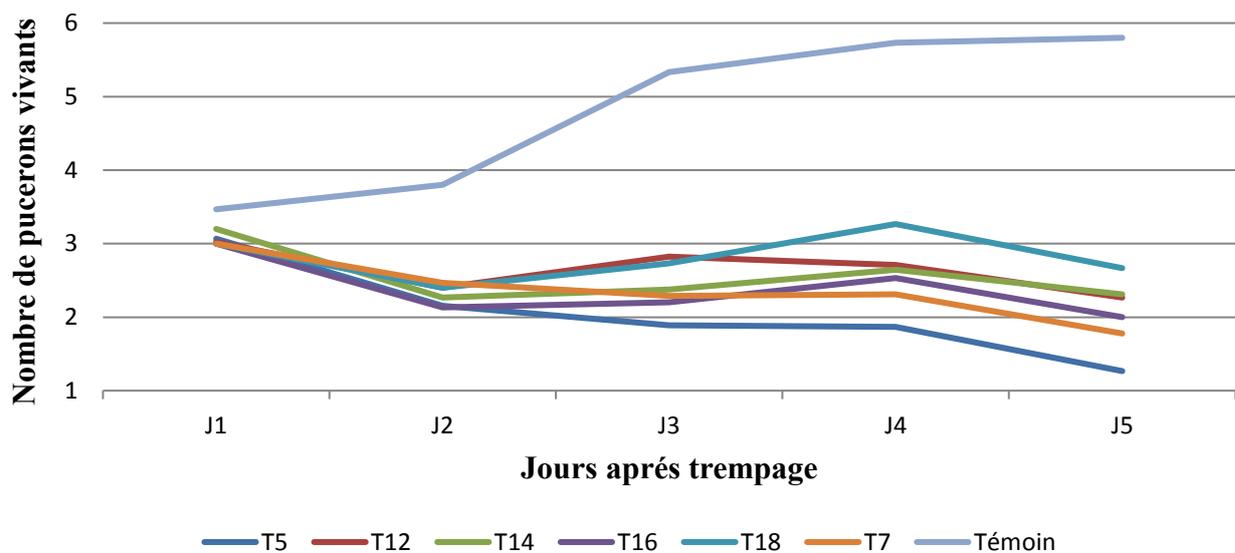


Figure 22: Evolution du nombre de pucerons vivants en fonction des jours après trempage. T5 : litière de nord bassin + son de riz, T12 : litière de dakar + son de riz, T14 : litière de dakar + coque d'arachide, T16 : sans litière + son de riz, T18 : sans litière + coque d'arachide, T7 : litière de nord bassin + coque d'arachide, Témoin : eau distillée.

Plutella xylostella

Un taux de mortalité négligeable a été observé au cours de l'expérimentation (6 larves mortes sur 225 utilisées). La surface consommée par les larves de *P. xylostella* dans le témoin eau n'est pas significativement différente de celles des autres solutions. Par contre, la surface consommée par

les larves dans les solutions de substrat seul est significativement différente du témoin eau ($P < 5\%$) (Tableau 13).

Tableau 13 : Résultats du GLM effectué sur la surface consommée pour l'ensemble des modalités.

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	Pr (>Chi)
NULL			224	187.08	
litière	2	2.3856	222	184.69	0.3033742
substrat	3	13.3461	219	171.35	0.0039450**
traitement	2	0.1853	217	171.16	0.9114958

Lorsque que l'on compare les différents traitements (autoclavées, filtrées, brutes) d'une même solution, aucune différence significative de la surface consommée n'est observée. Par contre, la surface foliaire consommée dans le témoin eau est significativement supérieure de celle observée avec les solutions de substrats seuls.

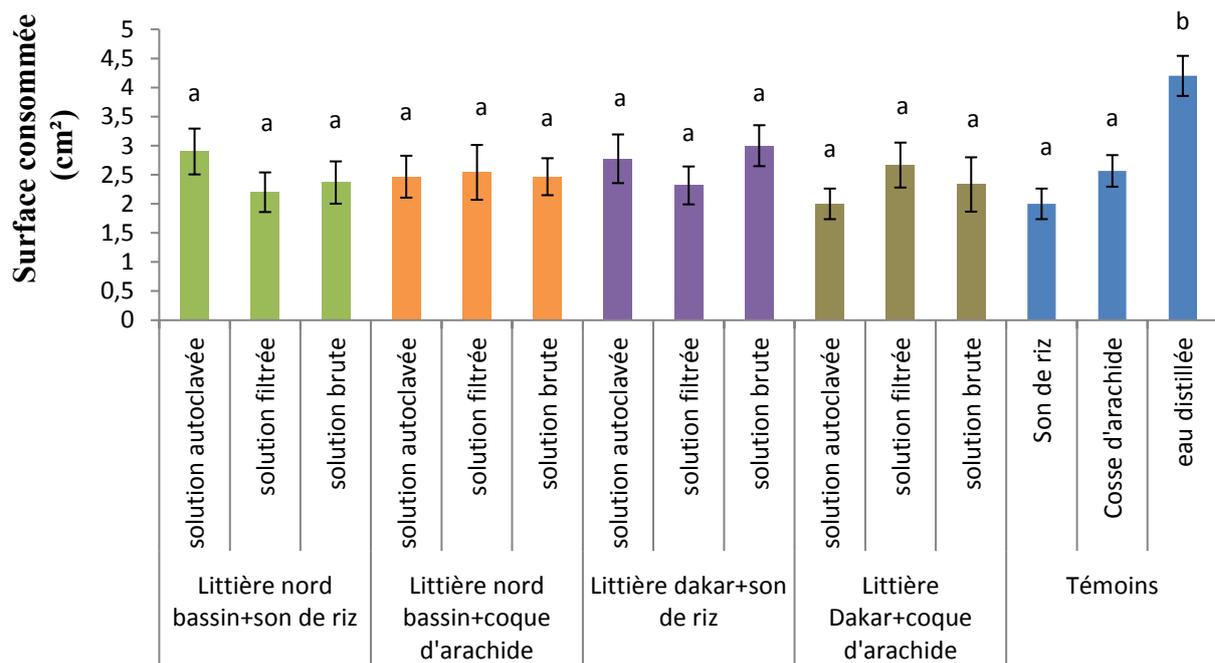


Figure 23: Moyennes de la surface foliaire consommée par les larves de *Plutella xylostella* pendant cinq jours après trempage dans différentes solutions. Les lettres illustrent les différences significatives des traitements par groupe. Les mêmes lettres montrent qu'il n'y a pas de différence significative.

b. Effet indirect des solutions sur les ravageurs

Lipaphis erysimi

Le nombre de pucerons vivants du témoin eau est significativement différents de celui des solutions de substrat seul ($P < 5\%$) (Test d'ANOVA sur le modèle GLM). Les solutions de substrat seul badigeonnées sur les feuilles ont donc significativement réduit la multiplication de *L. erysimi*.

Tableau 14 : Résultats du GLM effectué sur le nombre de pucerons vivants pour l'ensemble des modalités.

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	Pr (>Chi)
NULL			224	1461.7	
litière	3	6.489	221	1455.2	0.09011
substrat	3	35.333	218	1419.9	1.036e-07***
traitement	2	0.916	216	1419.0	0.63265

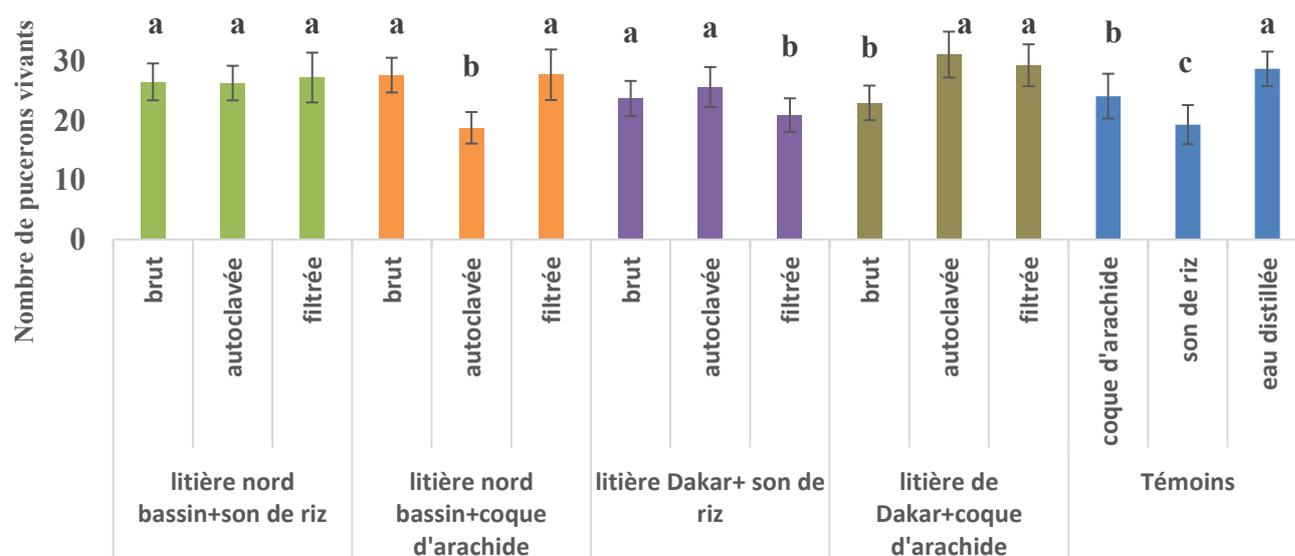


Figure 24: Nombre de pucerons vivants après cinq jours. Les lettres illustrent les différences significatives des traitements par groupe. Les mêmes lettres montrent qu'il n'y a pas de différence significative.

Le nombre de pucerons vivants des traitements de la solution [litière de nord bassin + son de riz] n'est pas significativement différent entre eux. Par contre, les traitements de toutes les autres solutions sont significativement différents entre eux. Le nombre de pucerons vivants est réduit pour le traitement autoclavé de la solution [litière de nord bassin + substrat de coque d'arachide]. Pour les solutions de la litière de Dakar, le nombre de pucerons vivants est réduit avec les

traitements filtrés et brutes quel que soit le substrat. Le nombre de pucerons vivants des solutions de substrat seul est significativement inférieur à celui du témoin eau.

Plutella xylostella

Le taux de mortalité observé au cours de l'expérimentation est faible (35 larves mortes sur les 225 testées). La concentration utilisée semble être insuffisante pour affecter les larves.

Tableau 15 : Résultats du GLM effectué sur la surface consommée pour l'ensemble des modalités.

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	Pr (>Chi)
NULL			224	229.58	
litière	2	1.8349	222	227.74	0.39953
substrat	3	10.9789	219	216.76	0.01184*
traitement	2	0.2597	217	216.51	0.87821

La surface foliaire consommée par les larves au bout de cinq jours dans le témoin eau est significativement supérieure à celle des solutions de substrat seul ($P < 5\%$) (Test d'ANOVA sur le modèle GLM). Les dégâts de *P. xylostella* sont donc réduits.

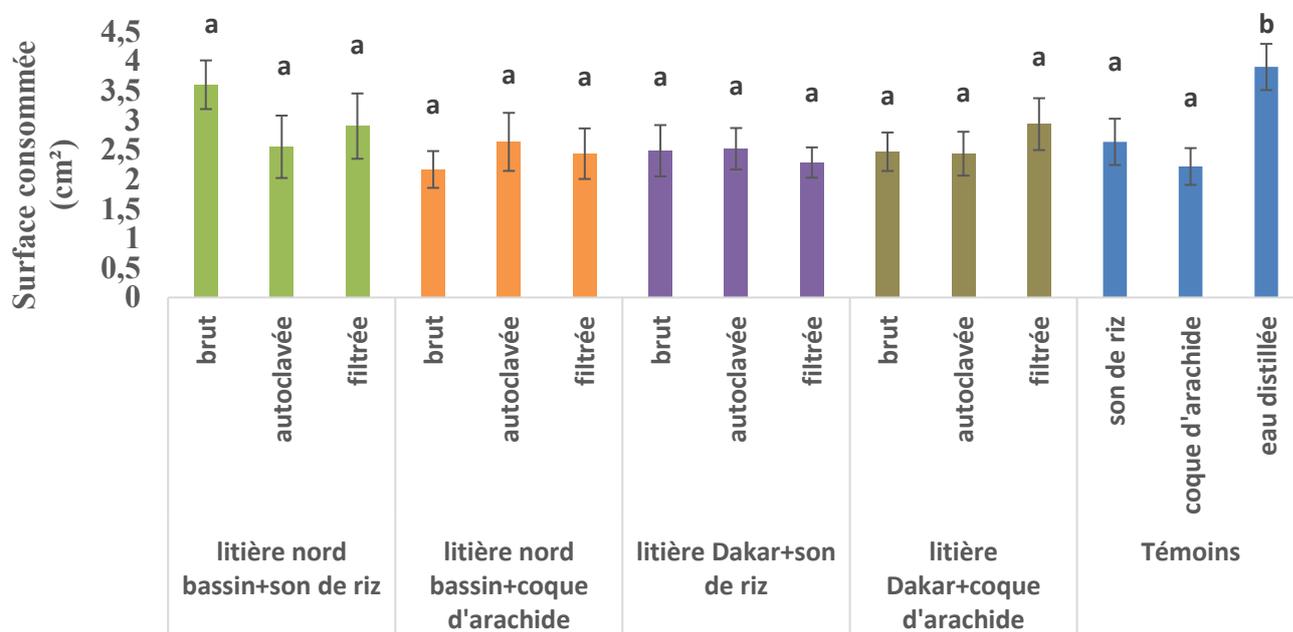


Figure 25: Moyennes de la surface consommée par les larves de *Plutella xylostella* pendant cinq jours après suivi. Les lettres illustrent les différences significatives des traitements par groupe. Les mêmes lettres montrent qu'il n'y a pas de différence significative.

La surface consommée par les larves de *P. xylostella* n'est pas significativement différente pour les différents traitements des solutions. Par contre, les feuilles badigeonnées des solutions de substrat seul ont été significativement moins consommées que les feuilles badigeonnées seulement avec de l'eau (Fig. 25).

3. Effet des solutions sur le potentiel méthanogène

a. Caractérisation biochimiques

Tableau 16 : Caractérisation biochimique des substrats et de l'inoculum

Paramètre testés	Substrat				Inoculum	
	BV	CCN	FC	FV	M7	M14
MS %	27	33	90	89	2	2
MO %	13	18	3	58	1	1
C %	24,94	29,94	19,39	1,75	28,53	27,10
C/N	17,94	19,96	17,16	4,86	14,05	10,75

BV : bouse de vache, CCN : crottin de cheval brut, FC : fumier de cheval, FV : fiente de volaille, M7 : litière de nord bassin + coque d'arachide, M14 : litière de dakar + coque d'arachide.

Le fumier de cheval (FC) et la fiente de volaille (FV) présentent les plus fortes teneurs en matière sèche (MS) respectivement de 90% et 89%. La teneur de la bouse de vache est de 27% et celle du crottin de cheval est 33%. La teneur en matière sèche de l'inoculum est très faible avec 2%. Parmi les substrats, le fumier de cheval a la plus faible teneur en matière organique ou matière organique volatile (MO ou MV) avec 3% et la fiente de volaille a la plus forte teneur (58%). Celles de la bouse de vache et du crottin de cheval sont respectivement 13% et 18%. La teneur en matière organique est la partie du substrat susceptible à la digestion anaérobie c'est à dire à la production de biogaz. Le crottin de cheval brut, la bouse de vache, le fumier de cheval présentent les plus grands rapports C/N respectivement avec 19,96 ; 17,94 et 17,16. Ceux de l'inoculum est 14,05 pour le M7 (litière de nord bassin avec substrat d'arachide) et 10,75 pour le M14 (litière de Dakar avec le substrat d'arachide). La fiente de volaille a le plus faible rapport avec 4,86. Le rapport C/N peut influencer la production de biogaz s'il est faible ou trop élevé. Il est de préférable qu'il soit dans une fourchette de 20 à 40 selon le rapport du PNB 2017.

b. Production de méthane (CH₄) par matière brute (MB) pour chaque substrat

Une légère accélération lors des 48 premières heures est notée sur la bouse de vache, le fumier de cheval, la fiente de volaille et le crottin de cheval inoculés avec les MAB. La litière de Nord bassina nettement amélioré la productivité du fumier de cheval (figure 26 B). Ce constat est le même avec le fumier de cheval inoculé. Contrairement à la litière de Dakar qui a un impact positif sur la production de méthane sur le crottin et le fumier de cheval (figure 26 C et D).

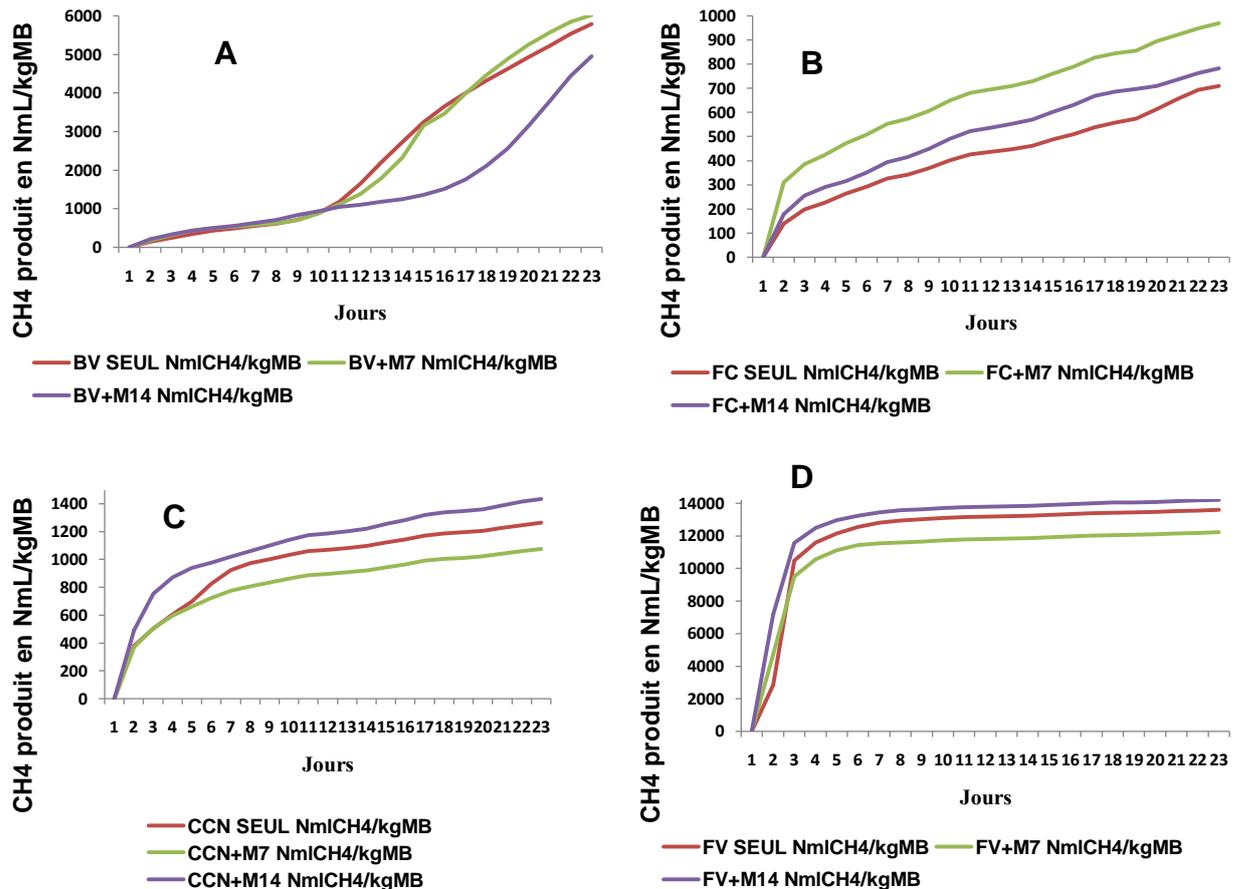


Figure 26: Cumul de CH₄ produit par jour pour chaque substrat. BV : bouse de vache, CCN : crottin de cheval normal, FC : fumier de cheval, FV : fiente de volaille, M7 : litière de nord bassin + coque d'arachide, M14 : litière de dakar + coque d'arachide.

c. Le potentiel méthanogène des substrats et de l'inoculum

La production de méthane en litre par kilogramme de matière brute (L/KgMB) est plus intéressante avec la fiente de volaille (13,6 L/kgMB) et la bouse de vache (5,8 L/kgMB).

Cette productivité baisse pour la fiente de volaille associée à la litière de Nord bassin (M7) et est légèrement améliorée avec la litière de Dakar (M14). Le constant est différent avec la bouse de vache où la production de méthane augmente avec la litière de Nord bassin (M7) et diminue avec

la litière de Dakar (M14). La production de méthane pour le crottin de cheval et le fumier de cheval est trop faible avec respectivement 1,3 L/kgMB et 0,7 L/kgMB (figure 27A). La quantité de biogaz par matière brute (MB) a été calculée en prenant en compte que la quantité de méthane représente 60% du taux de biogaz produit. La fiente de volaille et la bouse de vache produisent plus de biogaz que les autres substrats. Associés avec la litière cette production est légèrement améliorée. En outre, la production de biogaz du fumier et du crottin de cheval brut reste faible même en mélange avec la litière (figure 27B).

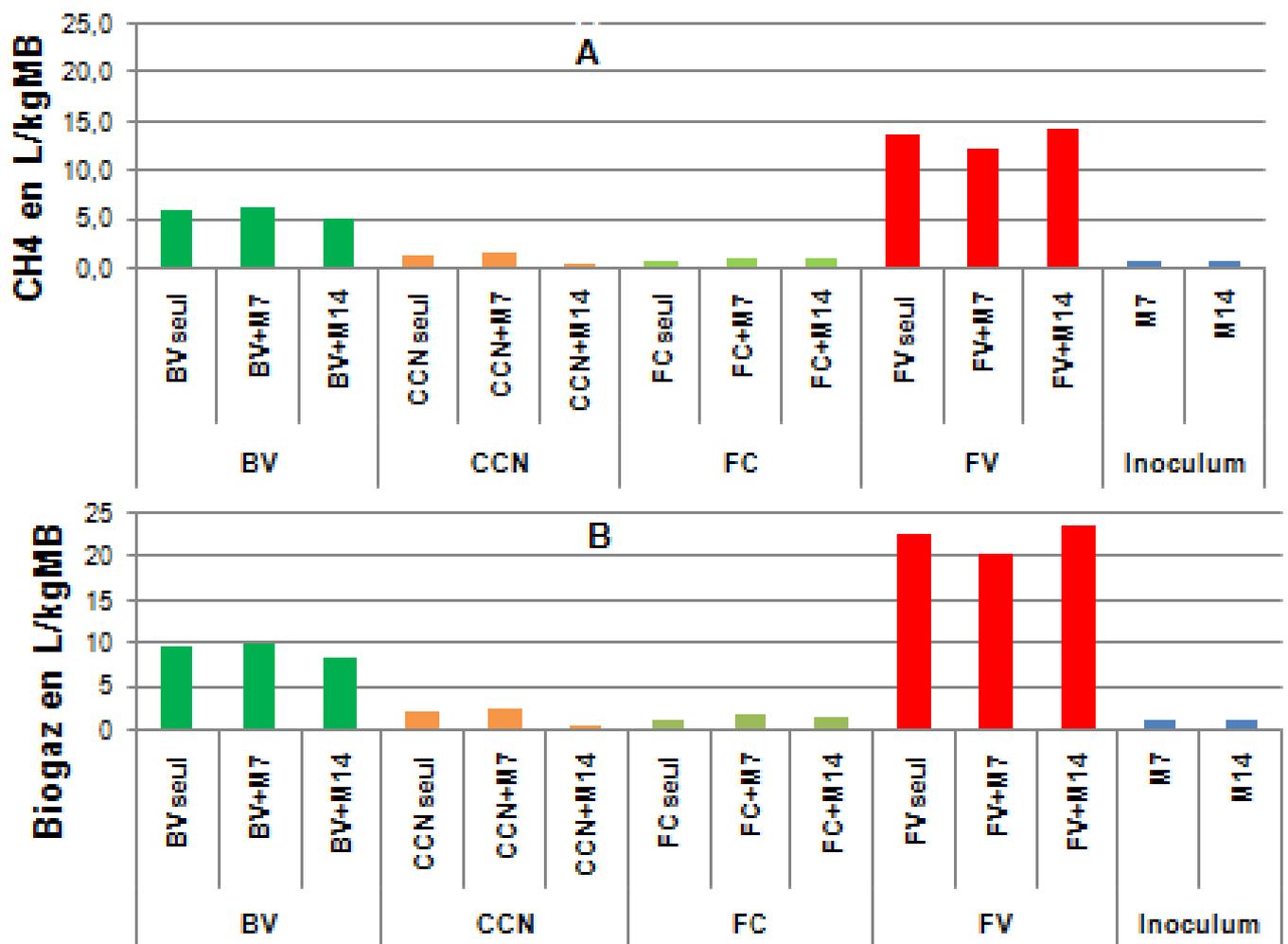


Figure 27: Production totale de méthane (A) et de biogaz (B). BV : bouse de vache, CCN : crottin de cheval normal, FC : fumier de cheval, FV : fiente de volaille, M7 : litière de nord bassin + coque d'arachide, M14 : litière de dakar + coque d'arachide.

II. DISCUSSION

L'objectif de cette étude était d'étudier l'effet de 15 bioproduits à base de micro-organismes autochtones bénéfiques (MAB) (i) sur la germination et la vigueur des plants de maïs, niébé, tomate, oignon, (ii) sur la bioprotection contre deux ravageurs : *P. xylostella* et *L. erysimi* sur le chou et le navet, (iii) pour optimiser le potentiel méthanogène.

Nos résultats ont montré que les bioproduits n'améliorent pas le taux de germination des graines de maïs, du niébé et de l'arachide contrairement aux études d'Esquijerosa et al.(2018) à Cuba où le taux de germination des graines de maïs est passé de 72 à 97%. Par contre certaines solutions ont un effet positif sur la germination des graines d'oignon et d'autres ont significativement réduit le taux de germination des graines d'oignon. L'amélioration de la germination grâce à certaines solutions peut venir de la zone de collecte de la litière. En effet, la teneur en matière organique est variable selon les zones climatiques et les espèces forestières qui sont à l'origine de la litière. Les solutions ont eu un impact positif sur le développement racinaire et la vigueur en générale de toutes les plantes testées (maïs, niébé et tomate). Cette amélioration de la croissance est probablement due à l'action hormonale des micro-organismes ou à la présence de nutriments (N, P, K, Ca, Mg) dans les bioproduits. D'après Suárez et al. (2017) ; Megaliet al. 2014 ; Daly & Stewart, (1999), les micro-organismes ont la capacité de synthétiser (i) des substances organiques (acides aminés, vitamines, acides organiques, enzymes, antioxydants), et (ii) des hormones de croissance, comme l'acide gibbérellique, qui seront utilisées par la plante. De plus, l'apport du substrat en carbone peut augmenter l'activité des micro-organismes, qui fournissent ainsi plus de nutriments à la plante. Les produits M2 ; M5 ; M10 sont plus efficaces pour améliorer la vigueur des plants de maïs, du niébé et de la tomate mais les produits M6 ; M8 ; M9 ; M11 ; M12 ; M13 ; M14 ; M16 ; M17 ont aussi un impact positif sur la vigueur des plants. Les études d'Esquijerosa et al. (2018) et Higa (1994) ont montré que les levures produisent des substances bioactives (hormones, enzymes) qui, réutilisées par les bactéries acido-lactiques et les actinomycètes, permettent d'augmenter la division cellulaire et la croissance racinaire. Les études de Berg (2009) ; Schippers et al. (1987) et Aouar (2012) ont montrées que la présence de micro-organismes bénéfiques rend l'azote et le phosphore disponible pour la plante. En outre, les bioproduits n'ont pas amélioré la croissance des plants d'oignon, contrairement aux observations de Daly & Stewart, (1999) qui montrent que les EM ont augmenté le rendement des oignons de 29% mais notre étude s'est arrêtée à la phase pépinière.

Les tests sur les ravageurs ont évalué l'effet direct et indirect des solutions sur deux insectes ravageurs majeurs du chou. Afin d'être en mesure de proposer des pistes sur les mécanismes en

jeu, chaque solutions a été déclinée selon deux traitement (i) filtration, afin de retirer toutes les particules, vivantes ou non, d'une taille supérieure à 0,45µm, et (ii) d'autoclavage, afin de stopper toute activité biologique. Ainsi, si un effet est observé : lorsque la solution brute est plus efficace que la solution filtrée cela indique que l'efficacité est due à l'activité biologique de la solution (donc aux micro-organismes). La solution filtrée permet quant à elle de savoir s'il s'agit de grosses ou de petites particules vivantes. Si, au contraire, la solution autoclavée et la solution brute ont la même efficacité, cela signifie que l'effet vient des caractéristiques physico-chimiques de la solution.

Les solutions ont réduit la multiplication du puceron à la fois de manière directe et de manière indirecte et ont augmenté la mortalité. Les différents traitements des solutions permettent de conclure de ces expérimentations que c'est la présence de micro-organismes qui est à l'origine de cette efficacité. Un effet des micro-organismes peut avoir plusieurs explications : (i) les études de Félix (2015) et Esquijerosa et *al.* (2018) avaient montrées que les solutions à base de micro-organismes bénéfiques permettent de limiter l'impact des ravageurs via l'induction de résistance systémique chez la plante, (ii) les études d'Azevedo et *al.* (2000) ont montrées les champignons peuvent rendre la plante désagréable aux insectes pour limiter leurs dégâts. La taille très petite de certaines bactéries montre qu'elles sont les seules micro-organismes à pouvoir franchir le filtre millipore jusqu'à la solution filtrée et par conséquent ce sont elles qui ont impacté significativement la reproduction de *L. erysimi*. La solution autoclavée a un effet significatif sur la multiplication du puceron. L'effet pourrait être dû au choc thermique lors de l'autoclavage qui pourrait avoir induit la libération de molécules modifiant les caractéristiques(odeur, pH)de la solution initiale. Au contraire, les solutions n'ont pas d'effet significatif sur la mortalité de *P. xylostella*. Sur 225 larves testées, 6 sont mortes avec le trempage direct et 35 sont mortes avec les feuilles badigeonnées. Ce résultat est différent de ce qu'avait trouvé Berg (2009) avec l'utilisation de *B. thuringiensis* qui est efficace contre ce ravageur. Nos résultats montrent donc que les solutions ne contiennent pas de pathogènes de *P. xylostella*. Cependant, cette étude a permis de montrer que les solutions de substrat seul réduisent les dégâts de *P. xylostella* sur chou. L'origine de cette réduction est physico-chimique car les solutions autoclavées ne sont pas moins efficace que la solution brute. Cela peut être dû à une réduction de l'appétence sur les feuilles (acidité, odeur). Il est aussi important de constater que les solutions les plus prometteuses ne sont pas les mêmes pour les deux ravageurs. Cela peut s'expliquer par les modes de nutrition différents, en effet, l'insecte broyeur ingère la solution sur les feuilles badigeonnées contrairement aux pucerons. Ainsi nous ne savons pas exactement si l'effet sur les pucerons est une maladie qui les

empêche de se multiplier ou si c'est le fait qu'ils se nourrissent moins car la plante ne leur convient plus. Les solutions M12 (litière de Dakar + son de riz) et M14 (litière de Dakar + coque d'arachide) sont plus efficaces pour limiter la multiplication de *L. erysimi*, et M16 (son de riz) et M18 (coque d'arachide) sont plus intéressantes pour réduire les dégâts de *P. xylostella*.

Les déchets organiques des animaux ou les résidus agricoles sont une source fiable de production de biogaz dans les ménages ruraux. Les bouses de vache, crottins de cheval brut, fumier de cheval et fiente de volaille ont été testé avec les solutions à base de micro-organismes pour valoriser cette productivité. Notre étude a montré que les micro-organismes présents dans les solutions ont la capacité de produire du biogaz à de faible quantité. Par ailleurs Esquijerosa et *al.* (2018) avait déjà observé que les MAB seuls ne produisent quasiment pas de biogaz. Ceci peut être dû à la quantité importante de micro-organismes dans la solution qui consomment très vite tous les nutriments du milieu. La quantité de méthane produite par la bouse de vache, le fumier de cheval et la fiente de volaille est très faible contrairement aux résultats des études de Fen et *al.* (2017), Kusch et *al.* (2008), Achinas & Euverink (2016), Møller et *al.* (2004) qui montraient une forte production de méthane selon le milieu. Inoculé avec les bioproduits, la productivité des substrats reste aussi très faible contrairement aux études de Suárez et *al.* (2017) dans lesquelles les solutions à base de MAB permettaient d'accélérer et d'augmenter la production de biogaz. Ces différences pourraient être dues (i) à l'acidité des solutions de MAB provenant de litières sénégalaises qui réduit l'efficacité des bactéries de méthanisation, (ii) à la durée du temps de l'incubation, et (iii) à l'état des substrats ou du milieu. La faible teneur en matière organique des substrats utilisés et leur rapport C/N inférieur à l'intervalle optimal (20 à 40) pour une bonne production de méthane constituent de réels facteurs limitants. Si le système est bloqué, la flore bactérienne perd en efficacité du fait de l'acidification du milieu et par conséquent la production de biogaz chute.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les solutions étudiées ont un impact globalement positif sur la vigueur des jeunes plants de maïs, de niébé, de tomate et un effet mitigé sur les plants d'oignon. Les MAB n'ont pas significativement améliorés le taux de germination des graines. Ceci nous pousse à réfléchir sur le délai entre l'inoculation et le semis pour limiter l'effet de pH des solutions et permettre aux micro-organismes de s'adapter et se multiplier afin de faciliter la disponibilité des nutriments pour la plante. Les bioproduits sont permis de réduire la multiplication de *L. erysimi* mais n'affecte pas la mortalité de *P. xylostella*. Cela pose la question d'un effet dose. Il serait intéressant de déterminer la dose efficace (DL50) des solutions. Il semble pour le moment qu'une application visant les ravageurs de type piqueur suceur est à explorer en priorité. Le potentiel méthanogène des fèces utilisées est trop faible. Inoculer avec les MAB, la production de méthane n'a quasiment pas évolué. Le rapport C/N des substrats testés ne rentre pas dans la gamme optimale pour la méthanisation.

Pour les applications les plus prometteuses, il paraît indispensable d'identifier les mécanismes en jeu, par exemple les interactions entre la solution et la plante ou les insectes, afin de pouvoir prévoir les résultats que donnera une litière donnée avec un substrat donné. L'identification des espèces de micro-organismes présentes dans les solutions ainsi que leur abondance apporteront de nouveaux indices sur ces mécanismes. Par ailleurs, l'impact de la fermentation anaérobie sur les populations de micro-organismes dans les solutions est seul garant d'une certaine homogénéité entre les solutions. Ce processus doit être étudié afin d'être maîtrisé voire manipulé.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Achinas S., Euverink G.J.W. (2016) – Theoretical analysis of biogas potential prediction from agricultural waste. *Resource-Efficient Technologies*, 2, 143–147.
- Amiaud B., Carrère P. (2012) – La multifonctionnalité de la prairie pour la fourniture de services écosystémiques. , 12.
- Aouar L. (2012) – Isolement et identification des actinomycètes antagonistes des micro-organismes phytopathogènes. , 240.
- Azevedo J.L., Maccheroni Jr. W., Pereira J.O., De Araújo W.L. (2000) – Endophytic microorganisms: a review on insect control and recent advances on tropical plants. *Electronic Journal of Biotechnology*, 3.
- Baillière B. (2015) – Les Micro-organismes efficaces.
- Berg G. (2009) – Plant–microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 84, 11–18.
- Boisvert K. (2014) – Évaluation du déplacement de Modèles d’endophytes dans le maïs et de leur effet sur la photosynthèse. , 129.
- Boultareau C., Champier A., Costentin D., Drion M., Plot M., Revel M., Vimenet L., Vulliez T. (2018) – Les micro-organismes dans notre quotidien et les applications dans l’alimentation. , 31.
- Chapleur O. (2012) – Ingénierie écologique des communautés microbiennes de méthanisation des déchets ligno-cellulosiques. , 289.
- Daly M.J., Stewart D.P.C. (1999) – Influence of “Effective Microorganisms” (EM) on Vegetable Production and Carbon Mineralization—A Preliminary Investigation. *Journal of Sustainable Agriculture*, 14, 15–25.
- Delfosse P. (2010) – Microbiologie de la digestion anaerobie. , 20.
- Desfontaines L., Rotin P., Ozier O.-L.H.. (2018) – Les Biostimulants : Qu’en savons-nous ? Quelles alternatives pour l’agriculture Guyanaise ? , 31–46, 16.
- E. Rashed, A. Hassan and L. Ahmed, 2014. Co-digesting Sewage Sludge Using Rice Straw and effective microorganisms (EM1). *Journal of residuals science & technology*, Vol. 11, No. 3, pp. 77-82.
- El Monayeri D.S., Atta N.N., El Mokadem S., Aboufotouh A.M. (2013) – Improvement of anaerobic digesters using pre-selected micro-organisms. , Vol. 3, 15.

- Esquijerosa Y., Betancourt D., Ortega Y., Mercedes W., Fernandes P. (2018) – Les micro-organismes autochtones (MAB) : technologie d'intérêt au Sénégal ? , 56.
- Félix D. (2015) – Compilation de documents et témoignages cubains sur le fonctionnement, la production artisanale et l'usage de micro-organismes efficaces en milieu paysan. , 42.
- Fen¹ C., Gao¹ Y., Wei² L., Fenwu¹ L., Wuping¹ Z., Yushan^{1*} B., Xiaomei^{1,3*} L. (2017) – Maximal methane potential of different animal manures collected in northwest region of China. , 10, 7.
- Gates, R. S., Batista, M. D., Souza, C. F., Tinoco, I. F. F., Miranda, S., & Álvares, F. F. (2014). Using cultures of "Effective Microorganisms" (EM) as inoculum in substrates for anaerobic digestion. In American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting 2014, ASABE 2014 (Vol. 7, pp. 4817-4827).
- Grogna P. (2017) – Protection des cultures en agriculture biologique. , 60.
- Gu X., Tian S., Wang D., Fei G., Wei H. (2010) – Interaction between Short-Term Heat Pretreatment and Fipronil on 2nd Instar Larvae of Diamondback Moth, *Plutella Xylostella* (Linn). Dose-Response, 8, dose-response.0.
- H. Daisy B., A. Strobel G., Castillo U., Ezra D., Sears J., K. Weaver D., B. Runyon J. (2002) – Naphthalene, an insect repellent, is produced by *Muscodor vitigenus*, a novel endophytic fungus. , 3737–3741, 5.
- Hernández H., Martín D.C.G.J.M. (2012) – La biomasa como fuente renovable de energía en el medio rural. , 208.
- Higa D.T., Parr D.J.F. (1994) – Beneficial and Effective Microorganisms for A Sustainable Agriculture And Environment. , 17.
- Kusch S., Oechsner H., Jungbluth T. (2008) – Biogas production with horse dung in solid-phase digestion systems. *Bioresource Technology*, 99, 1280–1292.
- Labou B., Brévault T., Fall A.N., Diarra K. (2016) – La teigne du chou, *Plutella xylostella* (Lepidoptera, Plutellidae), ravageur clé dans la zone maraîchère des Niayes au Sénégal. , 1.
- Laurence A. (2013) – Interaction entre la teigne du chou *plutella xylostella* (l.) et ses principaux parasitoides en conditions tropicales : approche ethologique, écologique et évolutive. , 200.
- Lemanceau P. (1992) – Effets bénéfiques de rhizobactéries sur les plantes : exemple des *Pseudomonas spp* fluorescents. , 413–437, 26.
- Maalim M.K., Mgana S.M.*, Mbuligwe S.E.*, Kassenga G.R.*, Mohamed S.M.. (2015) – Effect of EM on biogas production in uasb reactor treating domestic wastewater under tropical conditions. , 5.

- Megali L., Glauser G., Rasmann S. (2014) – Fertilization with beneficial microorganisms decreases tomato defenses against insect pests. , 9.
- Møller H.B., Sommer S.G., Ahring B.K. (2004) – Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. *Biomass and Bioenergy*, 26, 485–495.
- M'sadak Y., Ben M'barek A. (2017) – Valorisation Combinée Des Digestats Avicoles Solide Et Liquide Pour La Production Hors Sol Des Plants De Tomate En Tunisie. *Larhyss Journal*, 27–44, 18. A2
- Nawel S. (2014) – Etude des Associations Symbiotiques de Retamamonosperma : Approches Morphologique, Anatomique et Ultrastructurale, Caractérisation Moléculaire des Isolats. , 150.
- Ngom S., Manga A., Diop M., Thiam M.B., Rousseau J., Cisse I., Traore S. (2013) – étude de l'évolution des résidus de pesticides dans les produits horticoles de grande consommation au Sénégal. , 14.
- Ngom S., Seydou T., Thiam M.B., Anastasie M. (2012) – Contamination des produits agricoles et de la nappe phréatique par les pesticides dans la zone des Niayes au Sénégal. , 12.
- Nguyen christophe (2007) – La libération de composés organiques par les racines (rhizodéposition): modélisation et impact sur la biodisponibilité des éléments minéraux pour les plantes. , 137.
- Pazos-Rojas L.A., Marín-Cevada V., García Y.E.M., Baez A., Villalobos-López M.A., Pérez-Santos M. (2016) – Uso de microorganismos benéficos para reducir los daños causados por la revolución verde. , 3, 14.
- Rabatel A. (2011) – Développement embryonnaire du puceron *Acyrtosiphon pisum*: caractérisation de voies métaboliques et gènes clé dans les interactions trophiques avec *Buchnera aphidicola*. , 237.
- Rouille B., Teinturier C., Chaabouni R., Eudier S., Lucas M., Le Cozler Y. (2015) – Les coproduits en méthanisation : quel intérêt et quelle compétition avec l'alimentation animale ? , 51.
- Sayed A.H., Gatsi R., Ibiza-Palacios M.S., Escriche B., Wright D.J., Crickmore N. (2005) – Common, but Complex, Mode of Resistance of *Plutella xylostella* to *Bacillus thuringiensis* Toxins Cry1Ab and Cry1Ac. *Applied and Environmental Microbiology*, 71, 6863–6869.
- Schippers B., Bakker A.W., Bakker P.A.H.M. (1987) – Interactions of Deleterious and Beneficial Rhizosphere Microorganisms and the Effect of Cropping Practices. , 22.
- Sekkat A. (2015) – Aphids of Morocco: abridged bio-ecology of species evolving on crops. *Revue Marocaine de Protection des Plantes*, 1–23.

- Shelton A.M., Robertson J.L., Tang J.D., Perez C., Eigenbrode S.D., Preisler H.K., Wilsey W.T., Cooley R.J. (1993) – Resistance of Diamondback Moth (Lepidoptera: Plutellidae) to *Bacillus thuringiensis* Subspecies in the Field. *Journal of Economic Entomology*, 86, 697–705.
- Shirley F. (2016) – Essais de l'efficacité de différents biofertilisants sur orge de printemps (*Hordeum vulgare*) et prairie naturelle. , 72.
- Sow H.A., Diop T.A., Ndiaye F., Manga A.G.B., Diallo A. (2008) – Influence de la mycorhization arbusculaire sur la culture intensive de l'oignon (*Allium cepa* L.) au Sénégal. , 8, 7.
- Suárez J., Martín G., Cepero, Blanco D., Savran V., A. Sotolongo J., López A., Donis F., González O., Peña A., Hernández M., Hernández M. (2017) – Producción Integrada de Alimentos Y Bioenergía: La Experiencia Cubana. , 47–55.
- Thiaw W. (2019) – Effet d'un produit liquide sur les ravageurs aériens du chou.
- Walker M.V. (2010) – Impact de l'inoculation de micro-organismes phytobénéfiques sur le métabolisme secondaire de *Zea mays* L., 208.