

COMPTE RENDU

IMPACTS AGRONOMIQUES ET ECOLOGIQUES (VIE DU SOL) DE L'UTILISATION DU BACTERIOSOL[®] EN GRANDES CULTURES



Contenu

I.	Objectifs et enjeux.....	4
II.	Choix des biostimulants à tester	4
III.	Rappel du protocole retenu	5
IV.	Caractérisation de la parcelle	6
V.	Données culturales	6
VI.	Résultats 2014	7
A.	Suivi des reliquats d'azote entre octobre 2013 et janvier 2015	7
B.	Dénombrement des plantes levées et des épis.....	8
C.	Rendements et qualité à la récolte	8
D.	Prélèvement, tri et comptage de vers de terre.....	9
E.	Structure du sol par la méthode du test bêche	10
VII.	Résultats 2015	11
A.	Dénombrement des plantes levées.....	11
B.	Rendement et qualité à la récolte.....	11
C.	Suivi des reliquats d'azote post-récolte en octobre 2015.....	12
VIII.	Résultats 2016	12
A.	Suivi des reliquats d'azote entre octobre 2015 et juillet 2016	12
B.	Dénombrement des plantes levées et des épis.....	13
C.	Prélèvement, tri et comptage de vers de terre.....	13
D.	Rendements et qualité à la récolte	14
IX.	Comparaison entre le blé 2014 et le blé 2016.....	15
X.	Point final	16
A.	Caractérisation chimique de chaque modalité	16
B.	Caractérisation des communautés microbiennes	16
C.	Profils de sols.....	17
D.	Structure du sol par la méthode du test bêche	18
E.	Prélèvement, tri et comptage de vers de terre.....	19
F.	Dénombrement de la flore adventice	20
XI.	Conclusion	20

I. Objectifs et enjeux

Cette expérimentation s'inscrit dans le cadre du projet Biostimyc encadré par la Chambre régionale d'agriculture des Pays de la Loire, volet des biostimulants. Ce volet a pour objectif de mieux connaître pour mieux prescrire une catégorie de produits naissante sur le marché des grandes cultures : les biostimulants. Ils sont regroupés en trois catégories : les produits Stimulateurs de défense des plantes (SDN) contre les maladies, les produits de stimulation de la nutrition, ainsi que les produits dits biostimulants des sols. Ce protocole concerne les produits biostimulants du sol.

Les agriculteurs sont actuellement confrontés à une recrudescence de propositions commerciales concernant des produits dits de stimulation de l'activité biologique des sols, ou biostimulants du sol. Jusqu'alors ces produits étaient essentiellement distribués en direct auprès des agriculteurs. Depuis quelques années, la plupart des sociétés qui les commercialisent ont opté pour un passage de plus en plus fréquent via les distributeurs (négoce, coopératives). Ce choix tend à accroître la pression commerciale sur les producteurs qui sollicitent de plus en plus l'avis des conseillers des Chambres d'agriculture si bien que l'acquisition de références complémentaires devient nécessaire.

Les argumentaires technico-économiques accompagnant la vente de ces produits ont en commun les points suivants :

- L'amélioration quantitative et qualitative de la production des cultures.
- La possibilité d'abaisser les apports d'éléments minéraux majeurs (NPK).
- L'emploi de ces produits s'inscrirait dans le cadre de la durabilité des systèmes de culture et de la préservation de l'environnement.

Dans la plupart des cas, les sociétés qui produisent ces substances indiquent que les effets deviennent notoires après plusieurs années d'utilisation.

L'argumentaire technique s'appuie sur des effets qui sont généralement difficiles à mesurer au champ ou qui nécessitent une investigation lourde et onéreuse, parfois sans méthodologie standardisée à disposition (cas de certaines analyses de niveaux d'activités microbiologiques des sols par exemple).

II. Choix des biostimulants à tester

Nous avons contacté différentes structures afin de tester leurs biostimulants. Seule une société a accepté de nous confier son complexe éco-systémique : le Bactériosol®.

FICHE TECHNIQUE du BACTERIOSOL®	
Amendement organique norme NF U44-051. Composé de matières d'origine végétale, de matières minérales et d'une sélection de végétaux naturels compostés avec micro-organismes spontanés sélectionnés sur les composts de la technologie Marcel MÉZY®.	
PRECONISATIONS FIRME	
- Dose : 300 à 600 Kg/Ha/an - Appliquer en surface du sol (ne pas enfouir) et sur toutes cultures, en conditions favorables à la croissance végétale. - Pas d'apport simultané avec des produits chimiques à effet bactéricide, fongicide ou herbicide, chaux vive, superphosphate, désinfectants de sols ou autres pesticides... - Respecter un délai minimum de 2 semaines entre l'application de Bactériosol® et tout traitement. Préférer l'apport de Bactériosol® après l'application de tout autre traitement.	
EFFETS ATTENDUS (infos firme)	
<ul style="list-style-type: none">• Optimisation de vos rendements.• Amélioration de la qualité de vos sols, de vos productions végétales et animales.• Meilleure résistance à la sécheresse et amélioration de l'enracinement.• Remplace naturellement toute fertilisation en valorisant mieux les éléments minéraux et organiques du sol.• Meilleure valorisation et utilisation aux bonnes périodes des fumiers, lisiers et résidus végétaux.• Limitation des pertes par lessivage des éléments solubles, dont les nitrates.• Diminution des pollutions et solution pour répondre aux réglementations agro-environnementales.	
COMPOSITION	
MS : 87% minimum MO : 43% Azote total : 2,7% (sur produit brut) Azote organique : 1% (sur produit brut)	C/N : 8 P ₂ O ₅ : 2,0% (sur produit brut) K ₂ O : 1,6% (sur produit brut)

III. Rappel du protocole retenu

L'objectif de cet essai consiste à vérifier les effets attendus au champ.

- **Dispositif expérimental :**

Le dispositif expérimental de base est un dispositif en bandes.

- **Taille des parcelles élémentaires :**

La taille d'une parcelle élémentaire sera au minimum de 5000 m² environ avec une largeur minimum de 18 m pour préserver au terme de l'essai une zone indemne de mélange de terre des parcelles contiguës avec le travail du sol.

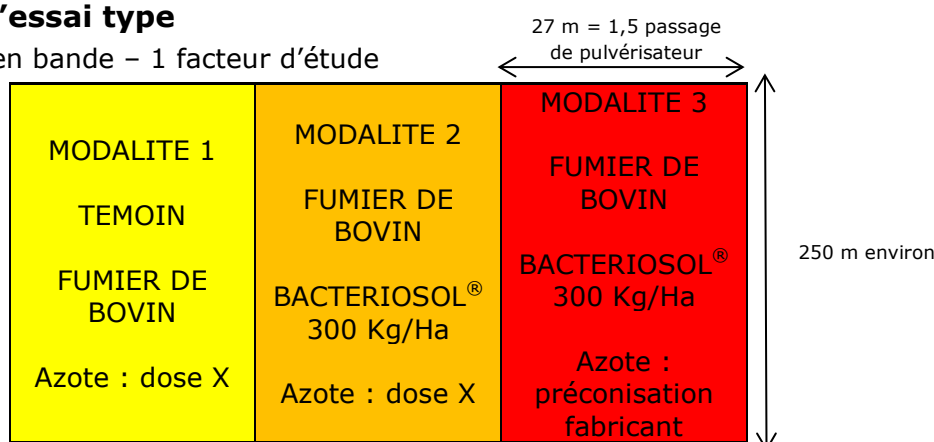
- **Choix de la parcelle :**

Selon les préconisations du fabricant, il faut une parcelle

- qui n'ait jamais reçue de Bactériosol[®],
- qui soit en culture sur les 3 prochaines années (ex : blé - triticales - maïs ; blé - méteil - maïs),
- sans pulvérisation de glyphosate,
- qui ne reçoit pas de chaux, pas d'apport de P et K (ex : Starter), pas d'apport d'azote soufré.

- **Plan d'essai type**

Dispositif en bande – 1 facteur d'étude



- **Méthode d'application du Bactériosol[®] :**

- Épandage :

Au semoir à engrais 2 à 3 semaines avant le semis (si possible).

La température du sol (5-10 cm) doit être de 8°C minimum.

- Itinéraire préconisé après épandage

Ne pas labourer après épandage.

Ne pas appliquer de produits phytosanitaires dans les 8 jours (3 semaines dans l'idéal) qui suivent l'épandage (privilégier un désherbage à partir de 3 feuilles du blé ou au printemps).

Pas d'irrigation.

Apports d'azote sous forme d'ammonitrate.

- **Méthode de récolte :**

Pesées géométriques (répétitions des mesures de rendement au sein d'une même bande) à la micro-moissonneuse d'expérimentation pour les céréales et à la main pour le maïs ensilage.

- **Variables mesurées :**

Sur le peuplement cultivé :

- Dates de réalisation des stades clés (levée, reprise de végétation sur les cultures d'hiver, floraison...)
- Vigueur de départ
- Rendement
- Qualité (teneur en protéines du grain pour les céréales, calibrage pour l'orge brassicole, MAT pour le maïs fourrage...)

Sur le sol :

Mesures à réaliser	Méthode	Fréquence
Analyse physico-chimique	<ul style="list-style-type: none">➤ 6 prélèvements par bande pour réaliser un échantillon composite par bande➤ Envoi au laboratoire pour analyse : granulométrie, CaCO₃ total, C organique, N total (y compris N-NO₃), pH eau, teneur en argile, P, K	<ul style="list-style-type: none">- Point 0- A la fin de l'étude (à la même saison)
Reliquats d'azote	<ul style="list-style-type: none">➤ 6 prélèvements par bande pour réaliser un échantillon composite par bande➤ Envoi au laboratoire pour analyse de la teneur en azote (nitrique et ammoniacal)	Chaque année : <ul style="list-style-type: none">- Automne- Sortie-hiver- Post-récolte
ADN microbien	<ul style="list-style-type: none">➤ 6 prélèvements par bande pour réaliser un échantillon composite par bande➤ Envoi au laboratoire pour analyse	<ul style="list-style-type: none">- A la fin de l'étude
Faune du sol	Comptage et détermination des vers de terre à l'aide du protocole OPVT, Université de Rennes 1 (Annexe 6)	<ul style="list-style-type: none">- Automne 2014- Printemps 2016
Structure du sol	<ul style="list-style-type: none">➤ Test bêche (Annexe 7)➤ Profils de sol	<ul style="list-style-type: none">- Point 0- A la fin de l'étude

IV. Caractérisation de la parcelle

Analyse de sol en Annexe 1 (Point 0)

Texture Profondeur	Limon argilo-sableux (parcelle drainée) 40-50 cm
Rotation	Blé / Couverts végétaux / Maïs ensilage / Blé
pH	7,1
CEC (Metson)	98 méq/Kg
Ca/CEC	120 %
Matières organiques	28,5 g/Kg
C/N	8,4
Phosphore (P ₂ O ₅) (olsen)	0,071 g/Kg
Potassium (K ₂ O)	0,192 g/Kg
Magnésium (MgO)	0,140 g/Kg

L'analyse montre un sol en bon état de fertilité chimique sur l'horizon de prélèvement avec un pH à la neutralité, un taux de matières organiques correct à 2,85 % avec un C/N à 8,4 (indiquant un bon fonctionnement du sol). Les éléments P, K et Mg présentent également un niveau satisfaisant à élevé.

V. Données culturales

Les données culturales détaillées sont jointes en Annexe 2.

Le tableau ci-dessous résume les apports de Bactériosol[®] réalisés sur la parcelle.

Années	Culture	Apports de Bactériosol [®]
2013-2014	Blé tendre d'hiver	350 Kg/Ha (8 jours après le semis)
2015	Maïs ensilage	300 Kg/Ha (3 semaines avant le semis)
2015-2016	Blé tendre d'hiver	300 Kg/Ha (9 jours après le semis)

VI. Résultats 2014

Culture en place : blé tendre d'hiver

Concernant la culture de blé, les indicateurs suivants ont été mesurés :

- suivi des reliquats (point 0, sortie-hiver 2014 et sortie-hiver 2015),
- dénombrement des plantes levées et des épis,
- rendements et qualité à la récolte,
- prélèvement, tri et comptage des vers de terre,
- structure du sol par la méthode du test bêche.

A. Suivi des reliquats d'azote entre octobre 2013 et janvier 2015

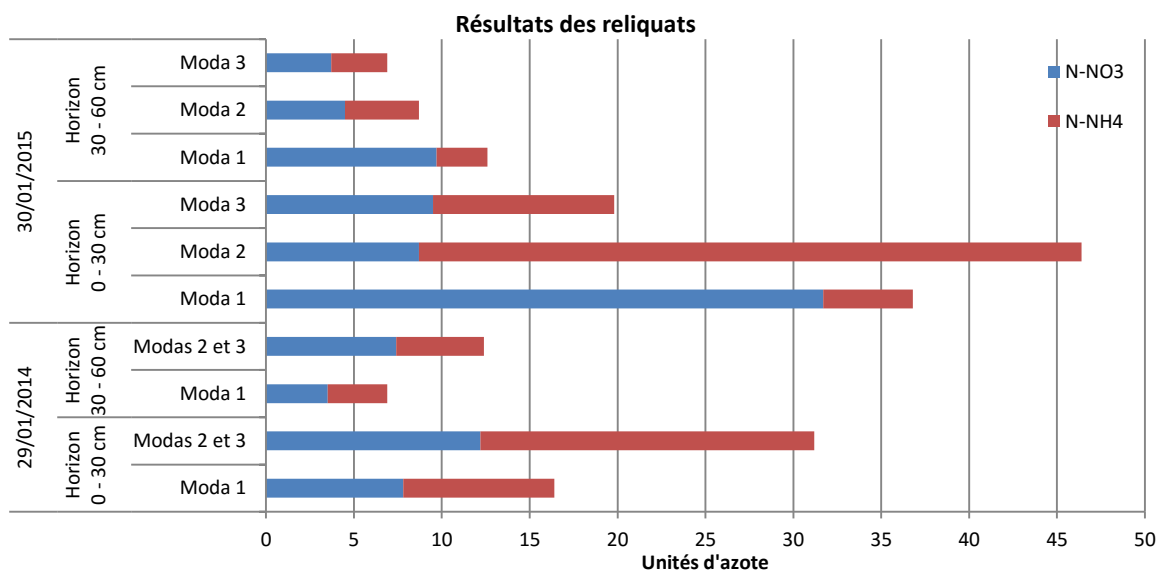
Les résultats complets sont en Annexes 3, 4 et 5.

Date prélèvement	Traitement	horizon 0 - 30 cm				horizon 30 - 60 cm				N-MINE TOTAL
		Humidité (%)	N-NO ₃ Kg/Ha	N-NH ₄ Kg/Ha	N-MINE	Humidité (%)	N-NO ₃ Kg/Ha	N-NH ₄ Kg/Ha	N-MINE	
18/10/2013	Ensemble de l'essai (point 0)	20,3	69,9	14,1	84,0	22,2	37,1	4,2	41,3	125,3
29/01/2014	Moda 1	23,3	7,8	8,6	16,4	21,2	3,5	3,4	6,9	23,4
29/01/2014	Modas 2 et 3	25,4	12,2	19,0	31,2	28,4	7,4	5,0	12,4	43,6
30/01/2015	Moda 1	21,5	31,7	5,1	36,8	29,3	9,7	2,9	12,6	49,4
30/01/2015	Moda 2	30,1	8,7	37,7	46,4	18,3	4,5	4,2	8,7	55,1
30/01/2015	Moda 3	28,4	9,5	10,3	19,8	24,4	3,7	3,2	6,9	26,7

Au 18/10/13, à l'implantation du blé, les reliquats prélevés de manière globale sur la parcelle d'essai sont élevés (culture précédente : colza d'hiver). L'azote nitrique est majoritairement présent dans les 2 horizons et représente 83 % de l'azote minéral dans le premier horizon et 90 % dans le deuxième.

Au 29/01/14, en sortie-hiver, les modalités ayant reçues du Bactériosol® se distinguent avec une teneur en azote supérieure de 20 unités par rapport au témoin (la majorité sous forme ammoniacale dans le premier horizon et la majorité sous forme nitrique dans le deuxième horizon).

Au 30/01/15, en sortie-hiver, la modalité 2 a des reliquats du même niveau que le témoin. En revanche, la fraction en azote ammoniacal est plus importante que dans le témoin (surtout dans le premier horizon). La modalité 3 contient une vingtaine d'unités d'azote minéral en moins que le témoin.



B. Dénombrement des plantes levées et des épis

Comptage levée :

Un comptage du nombre de plantes/m² a été effectué le 19/01/2014.

Le nombre de plantes est équivalent dans le témoin (182 pieds/m²) et dans les modalités 2 et 3 (193 pieds/m²).

Comptage épis :

Un comptage du nombre d'épis/m² a été effectué le 19/05/2014 (6 placettes de 50 cm X 50 cm par modalité).

		Nombre d'épis/m ²	Coefficient de tallage
Modalité 1	TEMOIN	420	2,3
Modalité 2	BACTERIOSOL® Azote dose X	444	2,3
Modalité 3	BACTERIOSOL® Préconisation fabricant	392	2,0

Les modalités 1 et 2 ont un nombre d'épis/m² équivalent.

La modalité 3 a 392 épis/m², soit environ 10 % de moins. La réduction de la dose d'azote bilan (30 U de moins) peut expliquer cette légère diminution.

C. Rendements et qualité à la récolte

La récolte a eu lieu le 18 juillet 2014 à l'aide d'une micro-moissonneuse d'expérimentation.

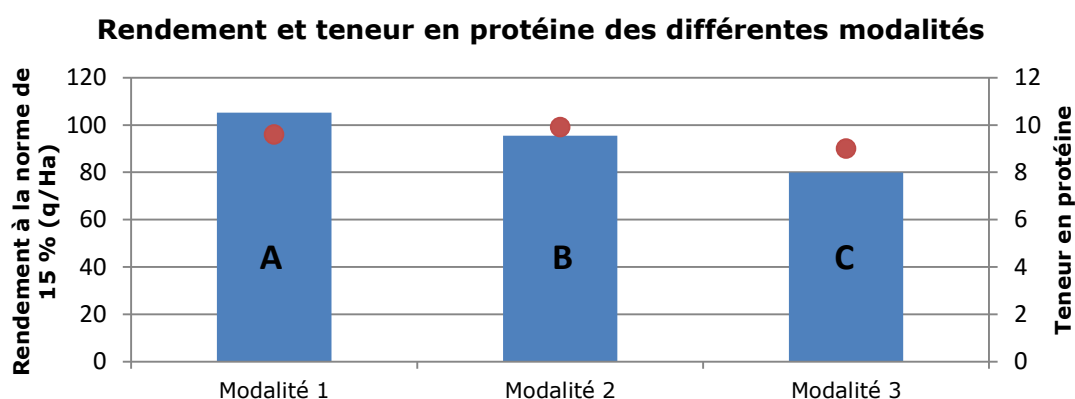
Par modalité, 6 bandes aléatoires correspondant à des répétitions ont été récoltées et pesées (1,50 X 10 m de long par bande).

Une analyse statistique a été réalisée avec Statbox agri. L'écart type résiduel est de 4,72 et le coefficient de variation à 5,05 % ; révélant que l'essai est moyennement précis.

	Rendement à la norme de 15 % (q/Ha)	Ecart-type	PS	Protéine	PMG	Groupe homogène
Modalité 1	105,2	3,98	77,7	9,6	53,0	A
Modalité 2	95,5	4,67	77,7	9,9	54,5	B
Modalité 3	79,9	2,63	76,7	9,0	51,9	C

Le témoin (groupe A) obtient les meilleurs rendements avec 10 quintaux de plus que la modalité 2 (groupe B) et 25 quintaux de plus que la modalité 3 (groupe C).

Concernant la qualité, le poids spécifique des 3 modalités est équivalent. La teneur en protéine des modalités 1 et 2 est de même niveau alors que celle de la modalité 3 est légèrement inférieure.



D. Prélèvement, tri et comptage de vers de terre

Après la récolte du blé et durant l'interculture, des prélèvements et des reconnaissances de vers de terre ont été effectués pour chaque modalité.

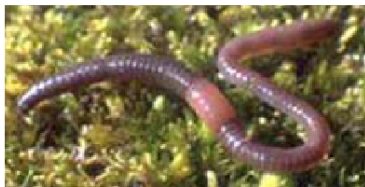
Ce test simplifié (protocole décrit dans l'annexe 6) permet de savoir si des vers de terre sont présents dans la parcelle, et si oui quelles catégories de vers. La répétition des observations permet de voir s'il existe un lien entre l'abondance des différentes catégories écologiques et les pratiques culturales. La vie du sol est perturbée lors du travail du sol et il semble que les vers de terre se développent peu dans les sols souvent travaillés. Un sol avec beaucoup de vers de terre correspond en général à un sol dans lequel l'activité biologique est développée. On peut alors espérer les bénéfices de leur activité sur la fertilité du sol.

Trois catégories écologiques de vers de terre

Source : Projet SOLAB

Vers épigés

Ces petits vers rouges sombres et vifs vivent à la surface, dans la litière. Ils ne creusent pas de galeries mais participent au fractionnement de la matière organique car leur alimentation est faite de litière. Ils préfèrent une humidité assez forte.



Vers endogés

De taille moyenne et vivant sous la surface, ils se déplacent horizontalement dans des galeries très ramifiées. Ils ont donc pour effet de dégrader la matière organique du sol en profondeur.



Vers anéciques

Ils sont particulièrement intéressants car se déplacent verticalement dans le sol, mélangeant la matière minérale et la matière organique. De grande taille, ils creusent de grosses galeries qui améliorent la porosité du sol et favorisent la circulation de l'eau et de l'air.

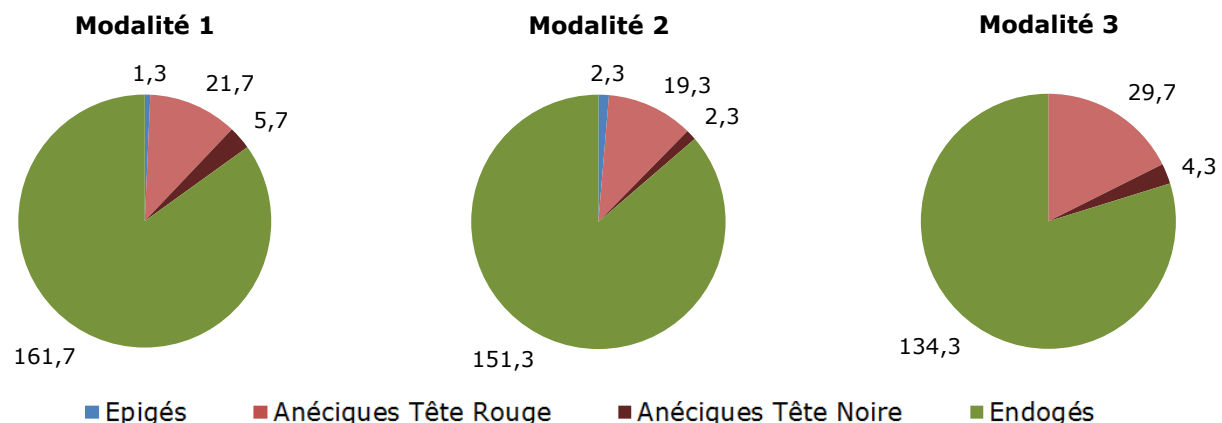


Le 06/11/14, à l'aide de la méthode « moutarde » (protocole OPVT, Université de Rennes 1), les vers de terre ont pu être prélevés à raison de 3 placettes de 1 m² par modalité. Le tableau suivant présente la moyenne de ces 3 placettes sur chaque modalité.

	EPIGES		ANECIQUES TETE ROUGE		ANECIQUES TETE NOIRE		ENDOGES		Non déterminés	TOTAL /m ²
	Adultes	Juveniles	Adultes	Juveniles	Adultes	Juveniles	Adultes	Juveniles		
Modalité 1	0,0	1,3	2,0	19,7	1,0	4,7	20,3	141,3	0,3	190,7
Modalité 2	2,0	0,3	4,7	14,7	1,0	1,3	20,7	130,7	0,3	175,7
Modalité 3	0,0	0,0	3,7	26,0	2,3	2,0	4,0	130,3	0,3	168,7

Le nombre de vers de terre moyen est important (178/m²). Les plus fréquents sont les endogés puis les anéciques. Il y a peu d'épigés.

Nombre et catégories de vers de terre prélevés par modalité :



On relève peu de différence entre les modalités. Le témoin, avec 190 vers de terre/m², est supérieur de 8 % à la modalité 2 et supérieur de 12 % à la modalité 3. Sur cette dernière, le nombre d'anéciques est plus important que sur les autres modalités.

E. Structure du sol par la méthode du test bêche

Au 10/04/2015 (avant l'implantation du maïs), des tests bêche (protocole décrit dans l'annexe 7) ont été réalisés sur chaque modalité.

Il s'agit de diagnostiquer l'état de la structure du sol à partir d'une bêche de sol, c'est-à-dire un volume de sol prélevé à la bêche. Il consiste à examiner d'abord la tenue du bloc de terre prélevé puis, en fractionnant progressivement le bloc, d'observer les racines, les cailloux, la terre fine, les mottes et leur mode d'assemblage. L'objectif au final est d'évaluer l'état structural de chaque modalité sachant qu'une bonne porosité est essentielle à une bonne activité biologique.



Figure 4 : Observer la tenue de la bêche sur la bêche puis sur la bêche



Figure 5 : Observer la fragmentation des blocs.



Figure 6 : Observer l'état interne des mottes.



Figure 7 : Estimer la proportion de cailloux, de terre fine et de chaque type de motte.

Source : Projet SOLAB

Conditions de mesure :

Les tests ont été réalisés le 10 avril 2015 pour chaque modalité (3 répétitions par modalité). Le couvert implanté entre la culture du blé et celle du maïs a été détruit par le gel.

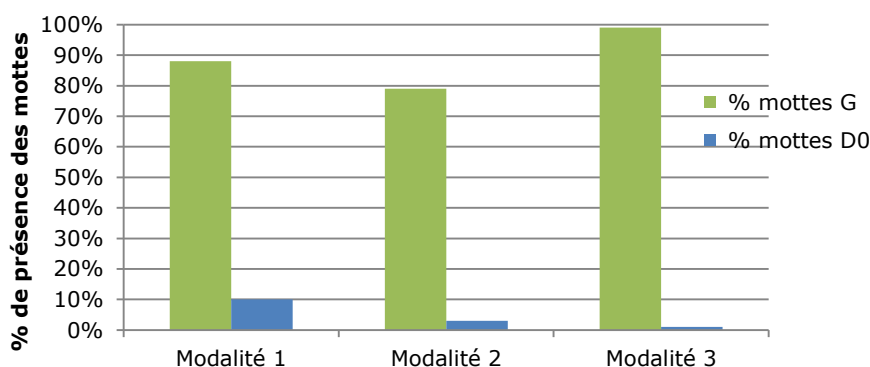
Le sol présente de bonnes conditions de ressuyage pour la réalisation du test mais la texture et la charge en cailloux rendent l'extraction du bloc difficile (réalisé plutôt sur le haut de la parcelle).

Bilan (Annexe 8) :

La synthèse des résultats est présentée ci-dessous :

	Modalité 1	Modalité 2	Modalité 3
Tient sur la bêche en 1 seul bloc ? (oui/non)	Non	Oui	Oui
Tient sur la bêche en 1 seul bloc ? (oui/non) Si non, nombre de sous-blocs Si oui, nombre de fissures	Non 4B	Non 2B	Non 3B
% mottes Γ	88 %	79 %	99 %
% mottes $\Delta 0$	10 %	3 %	1 %
% mottes Δ	0 %	0 %	0 %
Terre fine	2 %	18 %	0 %
Classement :	Classe 1 (Aucun Tassement)	Classe 1 (Aucun Tassement)	Classe 1 (Aucun Tassement)

Pourcentage de sol par type de mottes



Les notations test bêche montrent une bonne structure sur l'ensemble des modalités avec aucune zone de tassement notable, la porosité est donc favorable à une bonne activité biologique. Cependant, on peut noter que la modalité 3 se différencie légèrement des 2 autres en présentant la meilleure structure avec près de 99 % de mottes ouvertes (Γ). On peut alors se poser la question s'il faut faire un lien entre la meilleure structure relative et le nombre plus important d'anéciques sur cette modalité. En effet, les anéciques contribuent à améliorer la porosité du sol (galeries).

VII. Résultats 2015

Culture en place : maïs ensilage

A l'implantation du maïs, une nouvelle modalité a été intégrée (la modalité 4). Alors que les autres modalités reçoivent de la matière organique sous forme de fumier de bovin, celle-ci reçoit un mélange de fientes de volaille et de compost de déchets verts. Ainsi, cette nouvelle modalité va nous permettre de comparer l'activité du Bactériosol[®] sur 2 types de matière organique. Cette modalité ne sera pas étudiée dans ce rapport en raison de sa faible durée d'expérimentation et donc du manque de données.

Concernant la culture de maïs, les indicateurs suivants ont été mesurés :

- dénombrement des plantes levées,
- rendements et qualité à la récolte,
- suivi des reliquats (post-récolte/entrée-hiver 2015).

A. Dénombrement des plantes levées

Un comptage du nombre de plantes/m² a été effectué le 10/06/2015.

	MODA 1: témoin	MODA 2: Bactériosol [®]	MODA 3: Bactériosol [®] précoc. fabricant
Moyenne par modalité	9,0	9,6	9,4

Le nombre de plantes est semblable entre toutes les modalités soit 9 à 10 pieds/m².

B. Rendement et qualité à la récolte

La récolte a eu lieu le 04 septembre 2015. Elle a été réalisée à la main sur 4 placettes de 1 m X 2 rangs par modalité. Par placette, la récolte a été pesée puis un échantillon moyen par modalité a été broyé et envoyé au laboratoire pour réaliser une analyse de la valeur alimentaire (Annexe 9).

	MS ⁽¹⁾	Poids en T MS/Ha	UFL ⁽²⁾ /Kg	DMO ⁽³⁾ (%)	Amidon (g/Kg)	MAT ⁽⁴⁾ (g/Kg)	Cellulose brute (g/Kg)
Moda 1	35,1	10,6	0,93	72,4	273,7	55,0	156,0
Moda 2	32,9	11,0	0,89	70,1	229,6	57,2	178,8
Moda 3	32,3	11,0	0,92	71,8	231,4	56,5	167,2

(1) Matière Sèche

(2) Unité Fourragère Lait

(3) Digestibilité de la Matière Organique

(4) Matière Azotée Totale

Concernant la teneur en matière sèche, la modalité 1 est légèrement plus sèche que les autres modalités. Les rendements (en T MS/Ha) varient de 10,6 (modalité 1) à 11,0 T pour les modalités 2 et 3.

Pour les valeurs alimentaires, les UFL correspondent à des valeurs classiques rencontrées sur maïs (entre 0,89 et 0,93). Le témoin a une DMO plus élevée et une teneur en cellulose brute plus faible.

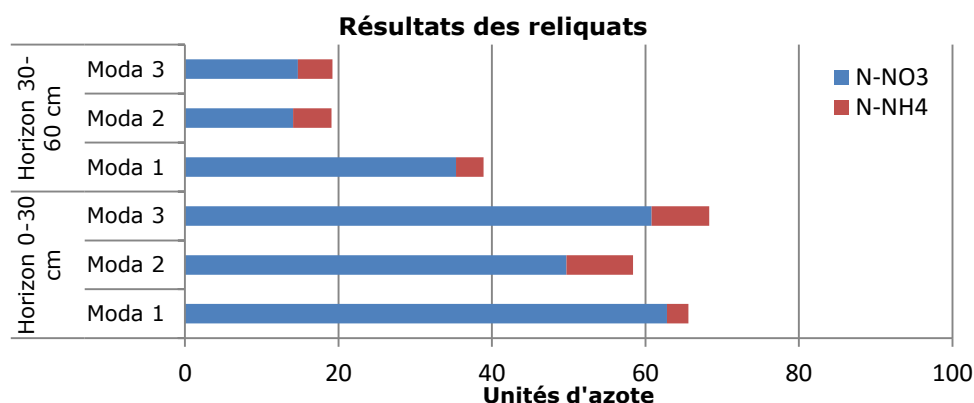
C. Suivi des reliquats d'azote post-récolte en octobre 2015

Les reliquats post-récolte/entrée-hiver ont été réalisés le 22/10/2015 (Annexe 10).

traitement	horizon 0 - 30 cm				horizon 30 - 60 cm				N-MINE TOTAL
	Humidité (%)	N-NO ₃ Kg/Ha	N-NH ₄ Kg/Ha	N-MINE	Humidité (%)	N-NO ₃ Kg/Ha	N-NH ₄ Kg/Ha	N-MINE	
Moda 1	15,7	62,8	2,8	65,7	22,6	35,3	3,6	38,9	104,6
Moda 2	16,0	49,7	8,7	58,4	19,2	14,1	5,0	19,1	77,6
Moda 3	9,5	60,8	7,5	68,3	23,3	14,7	4,5	19,2	87,5

La modalité témoin a un reliquat d'azote total élevé (104,6 Kg/Ha). L'azote est présent essentiellement sous forme nitrique (NO₃) : le premier horizon contient seulement 5 % d'azote ammoniacal et le deuxième horizon en contient 2 %.

Les modalités 2 et 3, avec respectivement 77,6 et 87,5 Kg d'azote total/Ha sont inférieures au témoin. L'azote ammoniacal relevé dans les reliquats est plus important que dans le témoin (12 et 18% sur le premier horizon et 30-35% sur le deuxième).



VIII. Résultats 2016

Culture en place : blé tendre d'hiver

Concernant la culture de blé, les indicateurs suivants ont été mesurés :

- suivi des reliquats (implantation 2015, sortie-hiver 2016 et post-récolte 2016),
- dénombrement des plantes levées et des épis,
- prélèvement, tri et comptage des vers de terre,
- rendements et qualité à la récolte.

A. Suivi des reliquats d'azote entre octobre 2015 et juillet 2016

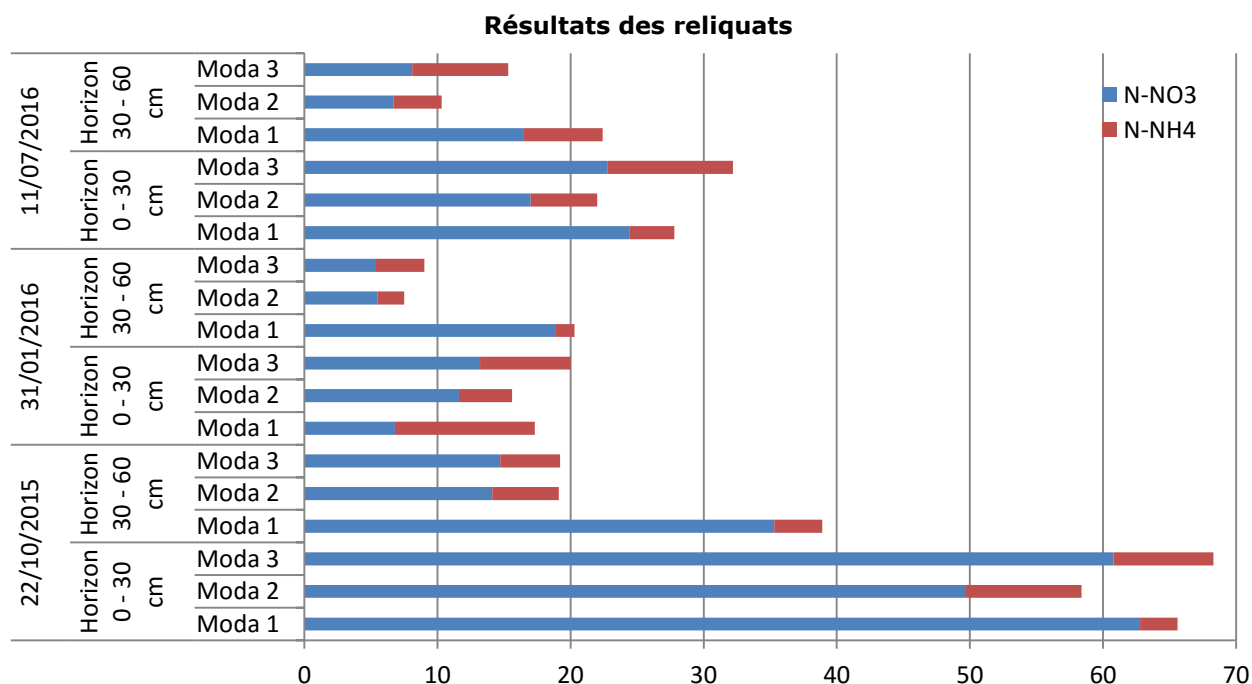
Les résultats complets sont en Annexes 10, 11 et 12.

date prélèvement	traitement	horizon 0 - 30 cm				horizon 30 - 60 cm				N-MINE TOTAL
		Humidité (%)	N-NO ₃ Kg/Ha	N-NH ₄ Kg/Ha	N-MINE	Humidité (%)	N-NO ₃ Kg/Ha	N-NH ₄ Kg/Ha	N-MINE	
22/10/2015	Moda 1	15,7	62,8	2,8	65,7	22,6	35,3	3,6	38,9	104,6
22/10/2015	Moda 2	16,0	49,7	8,7	58,4	19,2	14,1	5,0	19,1	77,6
22/10/2015	Moda 3	9,5	60,8	7,5	68,3	23,3	14,7	4,5	19,2	87,5
30/01/2016	Moda 1	27,4	6,8	10,5	17,2	26,4	18,9	1,4	20,3	37,5
30/01/2016	Moda 2	22,7	11,6	4,0	15,6	32,9	5,5	2,0	7,5	23,1
30/01/2016	Moda 3	28,1	13,2	6,8	20,0	28,8	5,3	3,7	9,0	29,0
11/07/2016	Moda 1	14,5	24,4	3,4	27,7	16,2	16,5	5,9	22,3	50,1
11/07/2016	Moda 2	17,1	17,0	5,0	22,0	21,6	6,7	3,6	10,3	32,3
11/07/2016	Moda 3	15,8	22,8	9,4	32,2	19,6	8,1	7,2	15,3	47,4

Au 22/10/15, à l'implantation du blé, les reliquats prélevés sur la parcelle d'essai sont de manière globale élevés (culture précédente : maïs ensilage). La modalité 1 contient le plus d'azote minéral total (104,6) suivie par la modalité 3 (87,5) et enfin la modalité 2 (77,6). L'azote nitrique est majoritairement présent dans les 2 horizons et représente plus de 85 % de l'azote minéral dans le premier horizon et plus de 70 % dans le deuxième.

Au 30/01/16, en sortie-hiver, le témoin sans Bactériosol® (modalité 1) se distingue avec une teneur en azote supérieure de 8,5 à 14,4 unités par rapport aux modalités 2 et 3 (recevant du Bactériosol®). Pour la modalité 1, la majorité de l'azote est sous forme ammoniacale dans le premier horizon et sous forme nitrique dans le deuxième horizon. Pour les autres modalités, c'est l'inverse, la majorité de l'azote est sous forme nitrique dans le premier horizon et sous forme ammoniacale dans le deuxième horizon.

A la récolte, au 11/07/16, la modalité 3 a des reliquats du même niveau que le témoin. En revanche, la fraction en azote nitrique est plus importante dans le témoin (surtout dans le deuxième horizon). Enfin, les reliquats de la modalité 2 sont les plus faibles avec environ 18 unités.



B. Dénombrement des plantes levées et des épis

Comptage levée :

Un comptage du nombre de plantes/m² a été effectué le 17/11/2015.

Le nombre de plantes est équivalent dans les 3 modalités (215 pieds/m²).

Comptage épis :

Un comptage du nombre d'épis/m² a été effectué le 09/06/2016 (6 placettes de 50 cm X 50 cm par modalité).

	Nombre d'épis/m ²	Coefficient de tallage
Modalité 1	491	2,3
Modalité 2	494	2,3
Modalité 3	508	2,4

Les modalités ont un nombre d'épis/m² équivalent.

C. Prélèvement, tri et comptage de vers de terre

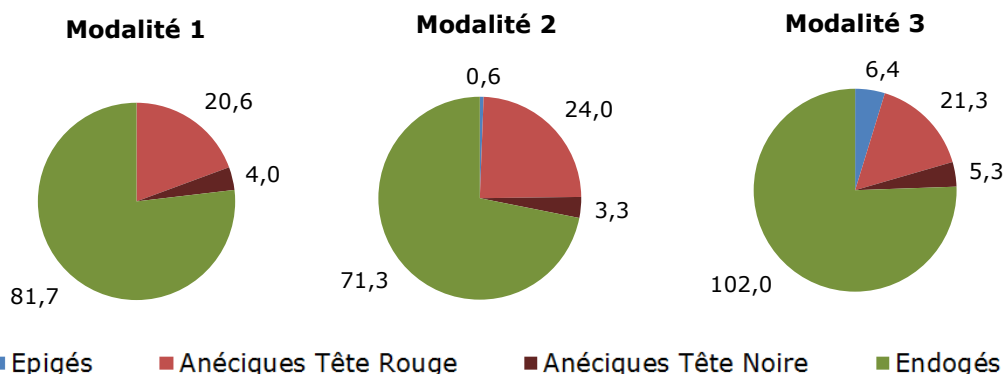
Des prélèvements et des reconnaissances de vers de terre ont été effectués pour chaque modalité.

Le 07/04/2016, à l'aide de la méthode « moutarde », les vers de terre ont pu être prélevés à raison de 3 placettes de 1 m² par modalité. Le tableau suivant présente la moyenne de ces 3 placettes sur chaque modalité.

	EPIGES		ANECIQUES TETE ROUGE		ANECIQUES TETE NOIRE		ENDOGES		Non déterminés	TOTAL /m ²
	Adultes	Juveniles	Adultes	Juveniles	Adultes	Juveniles	Adultes	Juveniles		
Modalité 1	0,0	0,0	6,3	14,3	1,7	2,3	2,0	79,7	0,0	106,3
Modalité 2	0,3	0,3	4,7	19,3	0,0	3,3	2,3	69,0	0,0	99,2
Modalité 3	5,7	0,7	6,0	15,3	1,0	4,3	5,7	96,3	0,0	135,0

Le nombre de vers de terre moyen est très correct (114/m²). Les plus fréquents sont les endogés puis les anéciques. Il y a peu d'épigés.

Nombre et catégories de vers de terre prélevés par modalité :



C'est la modalité 3 qui se distingue des autres par son nombre total de vers de terre un peu plus élevé (mais se traduisant par des vers de terre avec un poids moyen plus faible) et par la diversité des catégories présentes. En effet, on note la présence d'épigés (décomposition de la matière organique en surface) et d'un nombre important de jeunes endogés sur cette modalité.

D. Rendements et qualité à la récolte

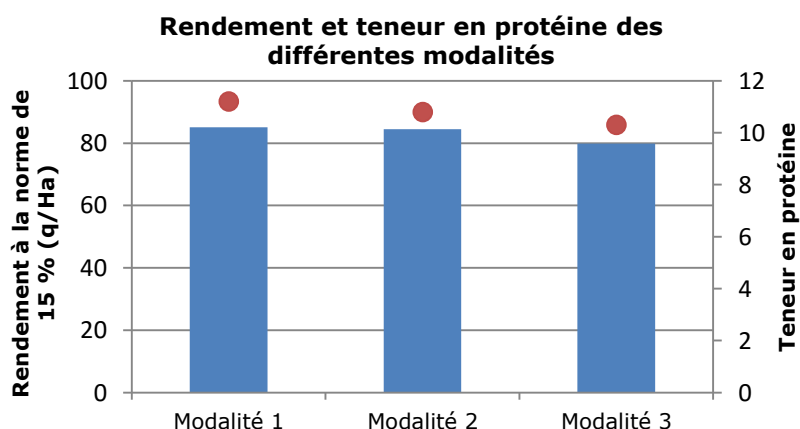
La récolte a eu lieu le 22 juillet 2016 à l'aide d'une micro-moissonneuse d'expérimentation.

Par modalité, 6 bandes de 1,50 X 10 m de long ont été récoltées et pesées.

Une analyse statistique a été réalisée avec Statbox agri. L'écart type résiduel est de 4,26 et le coefficient de variation à 5,14 % ; révélant que l'essai est moyennement précis.

	Rendement à la norme de 15 % (q/Ha)	Ecart-type	PS	Protéine	PMG	Groupe homogène
Modalité 1	85,1	4,18	78,4	11,2	37,6	Non significatif
Modalité 2	84,5	4,23	76,7	10,8	39,7	
Modalité 3	79,8	2,03	79,1	10,3	40,2	

Il n'y a pas de différences significatives entre les modalités. Le témoin (modalité 1) et la modalité 2 (Bactériosol et azote à dose X) obtiennent 85,1 et 84,5 quintaux. La modalité 3 a produit 79,8 quintaux.



Concernant la qualité, le poids spécifique des modalités est équivalent. La teneur en protéine des modalités 1 et 2 est de même niveau alors que celle de la modalité 3 est légèrement inférieure.

IX. Comparaison entre le blé 2014 et le blé 2016

Dans la rotation de la parcelle, la culture de blé était présente 2 fois (en 2014 et en 2016) ce qui nous permet de comparer le comportement de chaque modalité entre 2014 et 2016.

		Rendement (q/Ha)	Protéines	PS	Marge semi-nette (€/Ha)
Moda 1 = témoin	2014	105,2	9,6	77,7	1039,82
	2016	85,1	11,2	78,4	775,83
Moda 2	2014	95,5	9,9	77,7	574,32
	2016	84,5	10,8	76,7	446,83
Moda 3	2014	79,9	9,0	76,7	400,32
	2016	79,8	10,3	79,1	446,33

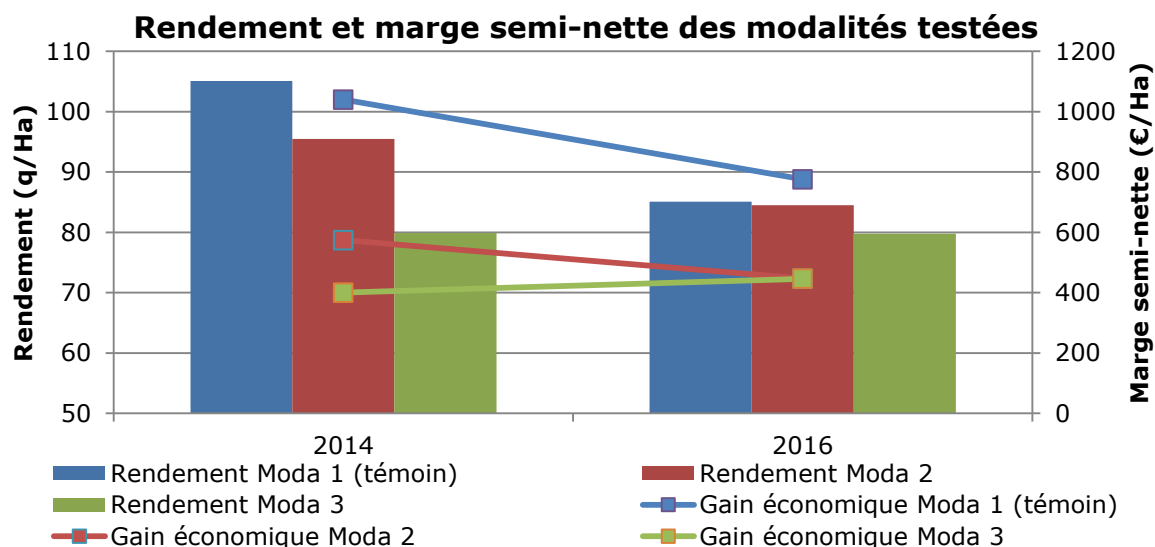
La marge semi-nette (€/ha) correspond au produit brut - charges opérationnelles (semences / fertilisation / phytosanitaire) - charges de mécanisation.

Bactériosol® (150€/Ha).

Coût de passage (10 €/passage d'épandeur et 13€/passage de pulvérisateur).

Azote minéral (1€/unité).

Prix du blé : moyenné à 150 €/T pour 2014 et 2016.



Sur ce graphique, on peut observer que le rendement des modalités 1 et 2 est d'un bon niveau mais chute entre 2014 et 2016 (- 20 quintaux pour le témoin et -11 quintaux pour la modalité 2). Par contre, pour la modalité 3 (apport de Bactériosol avec réduction d'azote), le rendement est inférieur mais se maintient entre les années en culture.

Concernant la qualité du grain, la teneur en protéine est améliorée entre 2014 et 2016. Pour 2014, la faible teneur en protéine s'explique par un effet de dilution (145 unités d'azote apportées pour 105 quintaux produits ainsi qu'un printemps sec ne permettant pas de valoriser le dernier apport azoté). Pour 2016, c'est l'inverse. La teneur en protéine est très correcte (180 unités pour 85,1 quintaux et bonne humidité au printemps).

Concernant la marge semi-nette, la tendance est la même que pour le rendement soit une dégradation de la marge pour les modalités 1 et 2 entre 2014 et 2016 et une stabilisation de celle-ci pour la modalité 3.

Ainsi, c'est bien la différence de niveau de rendement entre 2014 et 2016 qui influence la marge semi-nette. Cette différence de rendement peut s'expliquer par les mauvaises conditions climatiques en mai et juin 2016 ainsi qu'un déficit de rayonnement altérant la méiose et la production.

X. Point final

Afin de conclure sur ces 3 années d'expérimentation, un point final a été réalisé à l'automne 2016.

Par modalité, il consiste à étudier les indicateurs suivants :

- analyses chimiques
- caractérisation des communautés microbiennes (abondance champignons/bactéries),
- structure du sol via des profils de sol et des tests bêche,
- dénombrement des vers de terre,
- dénombrement de la flore adventice.

A. Caractérisation chimique de chaque modalité

Horizon 0-30 cm (Annexe 13) :

	18/10/2013	24/10/16		
	Zone d'essai	Modalité 1	Modalité 2	Modalité 3
pH	7,1	7,0	7,1	7,2
CEC (Metson)	98 méq/Kg	82 méq/Kg	90 méq/Kg	88 méq/Kg
Matières organiques	28,5 g/Kg	22,0 g/Kg	23,6 g/Kg	26,0 g/Kg
Azote total (Kjeldahl)	2,0 g/Kg	1,5 g/Kg	1,5 g/Kg	1,9 g/Kg
C/N	8,4	8,7	9,3	8,1
Phosphore (P ₂ O ₅) (olsen)	0,071 g/Kg	0,037 g/Kg	0,040 g/Kg	0,060 g/Kg
Potassium (K ₂ O)	0,192 g/Kg	0,085 g/Kg	0,090 g/Kg	0,171 g/Kg
Magnésium (MgO)	0,140 g/Kg	0,108 g/Kg	0,122 g/Kg	0,087 g/Kg

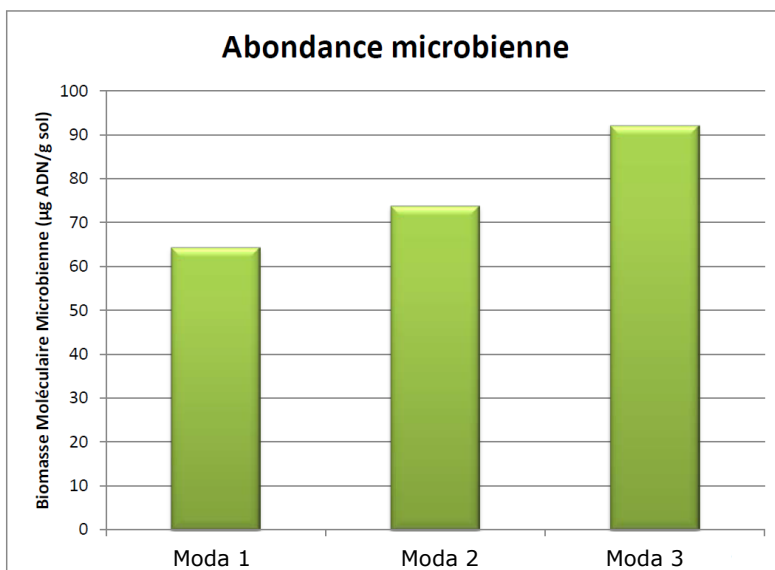
Les prélèvements réalisés au 24/10/16 sur l'horizon 0-30 cm montrent des résultats proches pour les différentes modalités. Les différences s'observent sur le taux de matières organiques (+0,4 point pour la modalité 3) et le potassium (+ 0,086 g/kg pour la modalité 3).

Horizon 30-60 cm (Annexe 14) :

	24/10/16		
	Modalité 1	Modalité 2	Modalité 3
Matières organiques	13,7 g/Kg	13,7 g/Kg	19,4 g/Kg
Carbone total	8,0 g/Kg	8,0 g/Kg	11,3 g/Kg
Azote total (Kjeldahl)	1,1 g/Kg	1,1 g/Kg	1,6 g/Kg
C/N	7,6	7,6	7,3

Sur l'horizon 30-60 cm, les teneurs en MO, Carbone total et azote total sont plus élevées pour la modalité 3.

B. Caractérisation des communautés microbiennes



Les résultats complets sont en Annexe 15.

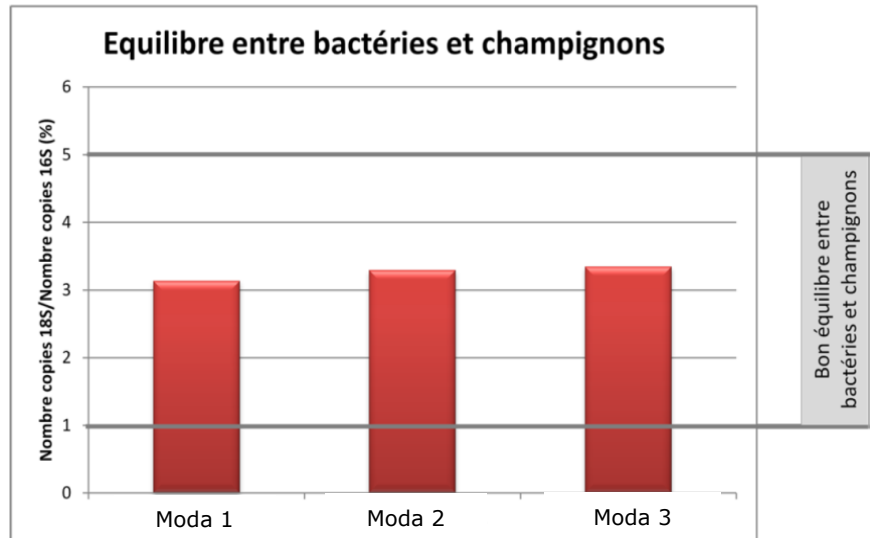
L'analyse microbiologique utilise la biologie moléculaire pour mesurer l'ADN des micro-organismes présents dans le sol (bactéries et champignons).

Ces analyses étant coûteuses, nous n'avons pas pu réaliser de répétitions sur chaque bande de l'essai pour pouvoir faire une analyse statistique et noter des différences significatives.

Toutefois, l'analyse de l'abondance microbienne (biomasse) montre un écart important en faveur de la modalité 3.

Le deuxième indicateur que nous apporte l'analyse microbienne est le rapport bactérie/champignon qui doit se situer entre 1 et 5 pour refléter un fonctionnement biologique équilibré.

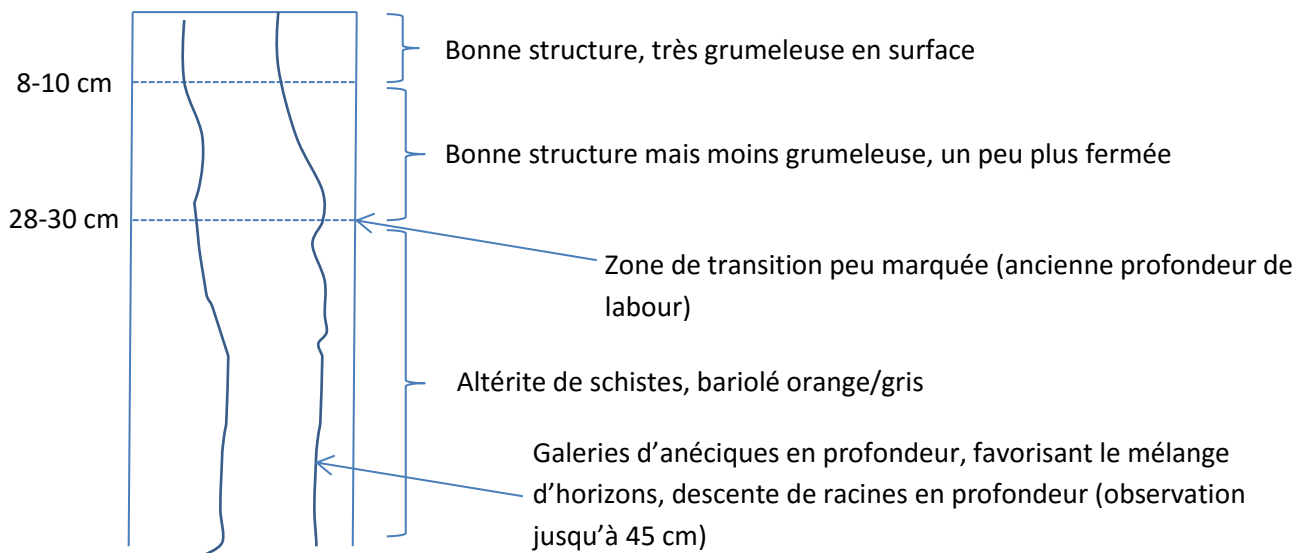
L'analyse ne montre pas de différence entre ces modalités pour cet indicateur. L'équilibre entre les communautés de champignons et de bactéries est correct pour chaque modalité.



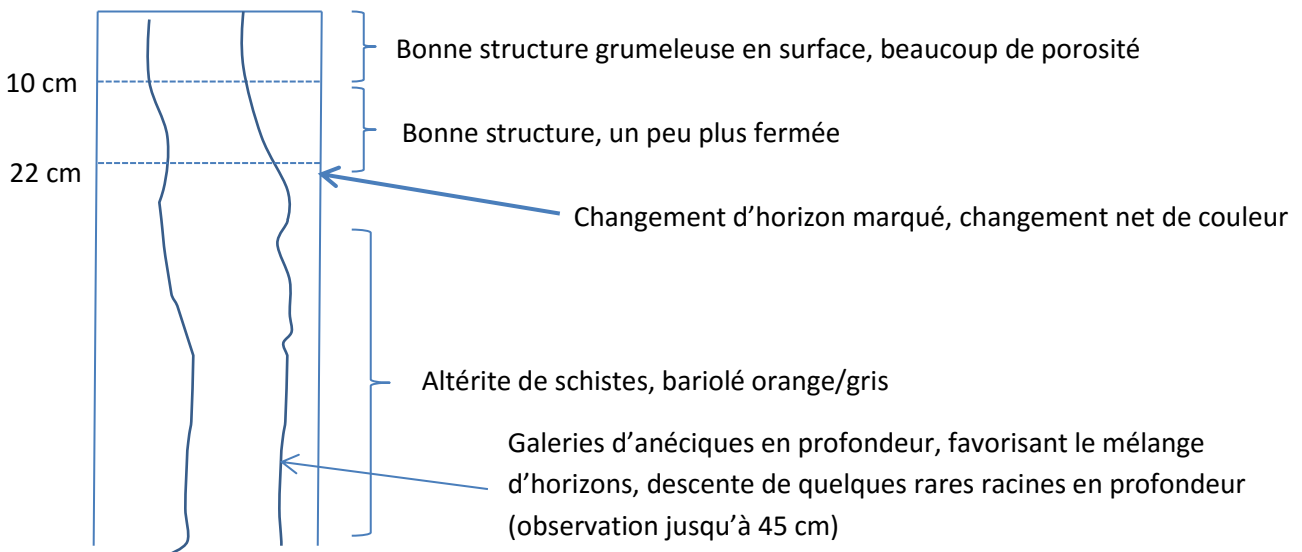
C. Profils de sols

Profils réalisés le 27/10/16 (parcelle implantée en couvert végétal)

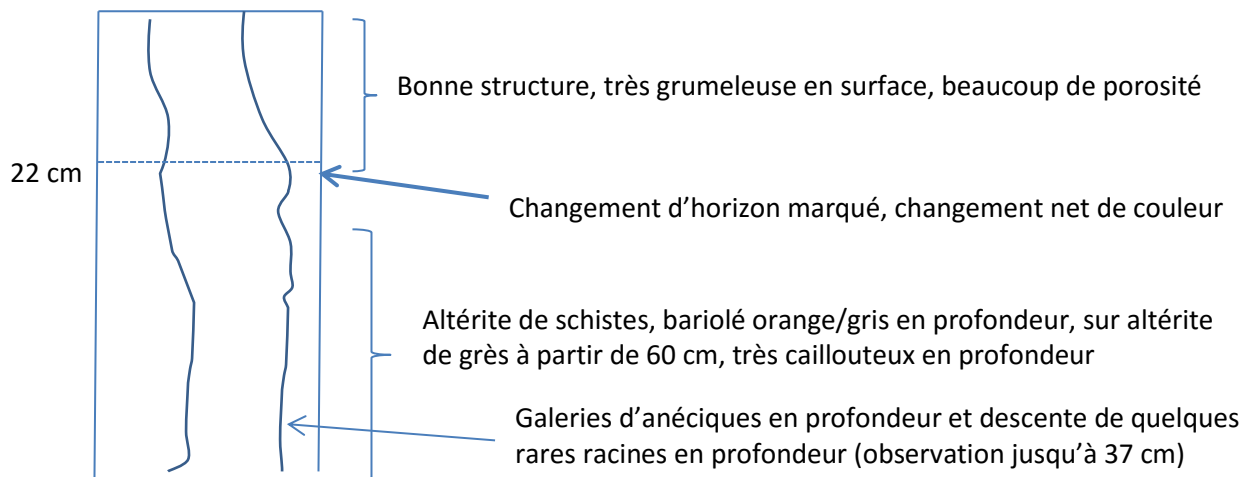
Profil 1 : Modalité 1



Profil 2 : Modalité 2



Profil 3 : Modalité 3



L'observation des profils est très proche. On observe toutefois quelques petites différences :

- La modalité 3 est plus homogène sur les 20 premiers centimètres avec une très bonne structure. Par contre, sur ce profil, on note un changement d'horizon marqué autour des 22 cm qui tend à disparaître sur la modalité 1.
- La modalité 1 présente une meilleure prospection racinaire en profondeur.

Pour conclure, la parcelle est conduite en technique simplifiée. Dans ces techniques, on recherche à la fois une bonne structuration de surface pour déposer la graine avec un minimum de travail de sol mais également, on cherche à supprimer l'horizontalité du sol pour permettre aux racines de descendre et d'explorer tout le profil.

Dans ce contexte, les modalités 1 et 3 répondent chacune à un des objectifs. La modalité 1 montre une bonne descente racinaire (verticalisation de l'organisation) alors que la modalité 3 présente une bonne structuration de surface.

L'apport de Bactériosol® (avec les préconisations du fabricant) semble avoir favorisé la porosité de surface et les techniques de l'agriculteur (seules) ont favorisé la descente racinaire (via les galeries d'anéciques) en profondeur.

D. Structure du sol par la méthode du test bêche

Des tests bêche ont été réalisés le même jour que les profils de sol et les résultats détaillés sont présentés en Annexe 16.

Conditions de mesure :

Les tests ont été réalisés le 27 octobre 2016 pour chaque modalité (3 répétitions par modalité).

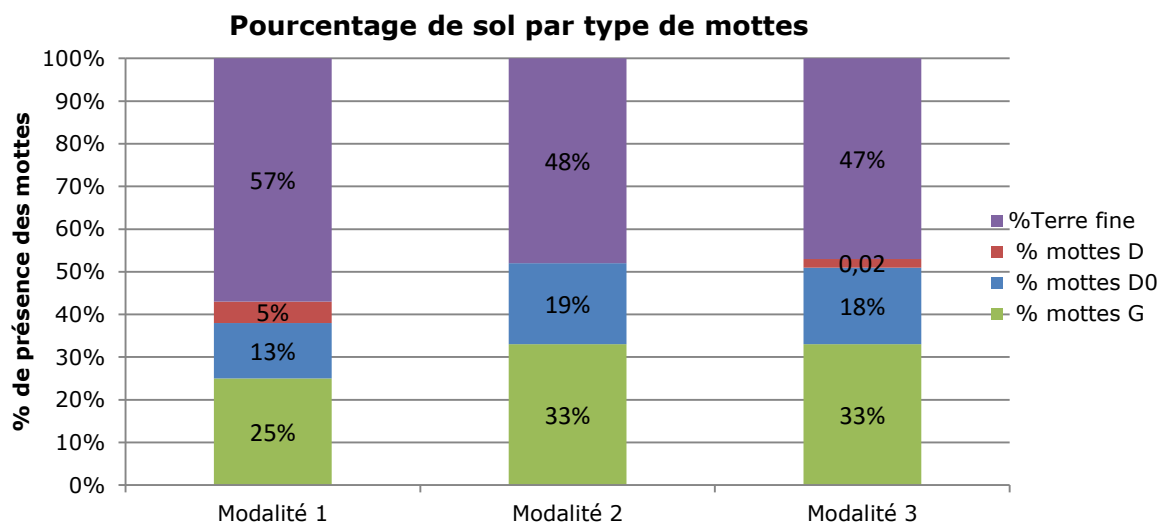
Le couvert implanté entre la culture du blé et celle du mélange céréalière est un mélange de féverole d'hiver, d'avoine rude et de seigle.

Le sol présente de bonnes conditions de ressuyage pour la réalisation du test mais la texture et la charge en cailloux rendent l'extraction du bloc difficile (réalisé plutôt sur le haut de la parcelle).

Bilan :

La synthèse des résultats est présentée ci-dessous :

	Modalité 1	Modalité 2	Modalité 3
<i>Tient sur la bêche en 1 seul bloc ? (oui/non)</i>	Oui	Oui	Oui
<i>Tient sur la bêche en 1 seul bloc ? (oui/non)</i> <i>Si non, nombre de sous-blocs</i> <i>Si oui, nombre de fissures</i>	Non	Oui > 1 F	Oui > 1 F
<i>% mottes Γ</i>	25 %	33 %	33 %
<i>% mottes Δ0</i>	13 %	19 %	18 %
<i>% mottes Δ</i>	5 %	0 %	0,02 %
<i>% Terre fine</i>	57 %	48 %	47 %
<i>Classement :</i>	Classe 1/C2R (Aucun Tassement)	Classe 1/C2R (Aucun Tassement)	Classe 1/C2R (Aucun Tassement)



Les tests bêche sont réalisés sur les 20 premiers centimètres du sol. Ils confirment une légère amélioration de la structure sur les modalités 2 et 3. Mais au final, la note globale de la structure est identique pour les 3 modalités ne relevant aucun tassement notable : une structure continue avec de nombreuses fissures (C2R), pas d'obstacles à la prospection racinaire.

E. Prélèvement, tri et comptage de vers de terre

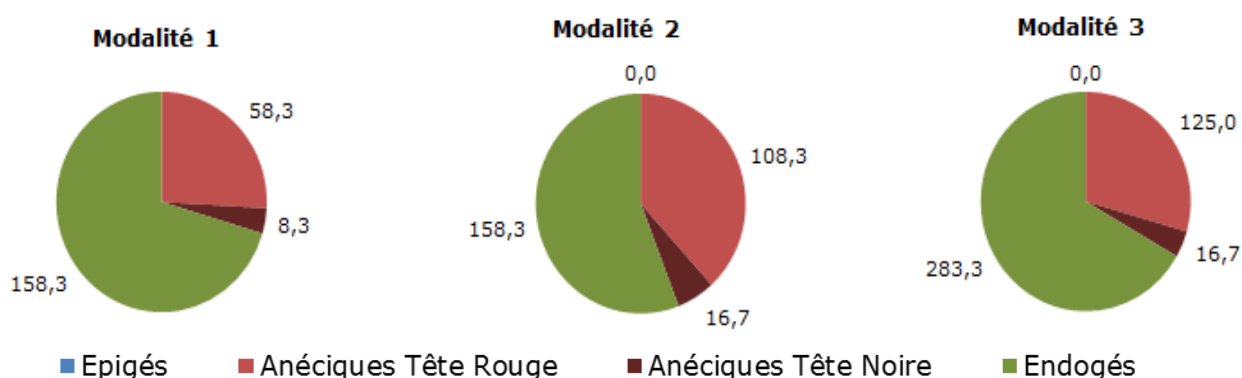
Des prélèvements et des reconnaissances de vers de terre ont été effectués sur les 3 modalités.

Le 27/10/2016, lors de la réalisation des tests bêches, les vers de terre ont pu être prélevés à raison de 3 placettes de 0,04 m² (20 X 20 cm) par modalité. Le tableau suivant présente la moyenne de ces 3 placettes sur chaque modalité.

	Moyenne des 3 placettes pour 0,04 m ²										TOTAL /m ²
	EPIGES		ANECIQUES TETE ROUGE		ANECIQUES TETE NOIRE		ENDOGES		Non déterminés	TOTAL	
	Adultes	Juveniles	Adultes	Juveniles	Adultes	Juveniles	Adultes	Juveniles			
Modalité 1	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,3	0,0	6,3	0,0	9,0	225,0
Modalité 2	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,7	0,0	6,3	0,0	11,3	283,3
Modalité 3	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,7	0,0	11,3	0,0	17,0	425,0

Le nombre de vers de terre moyen est très correct (311/m²). Les plus fréquents sont les endogés puis les anéciques. Il n'y a pas d'épigés.

Nombre et catégories de vers de terre prélevés par modalité :



La modalité 3 se distingue par un nombre de vers de terre plus important et notamment sur la catégorie juvéniles endogés et anéciques.

F. Dénombrement de la flore adventice

Pour chacune des 3 modalités, un comptage avec identification des espèces de la flore adventice a été réalisé le 24/10/16. Ainsi, 4 placettes de 50 cm X 50 cm par modalité ont été effectués.

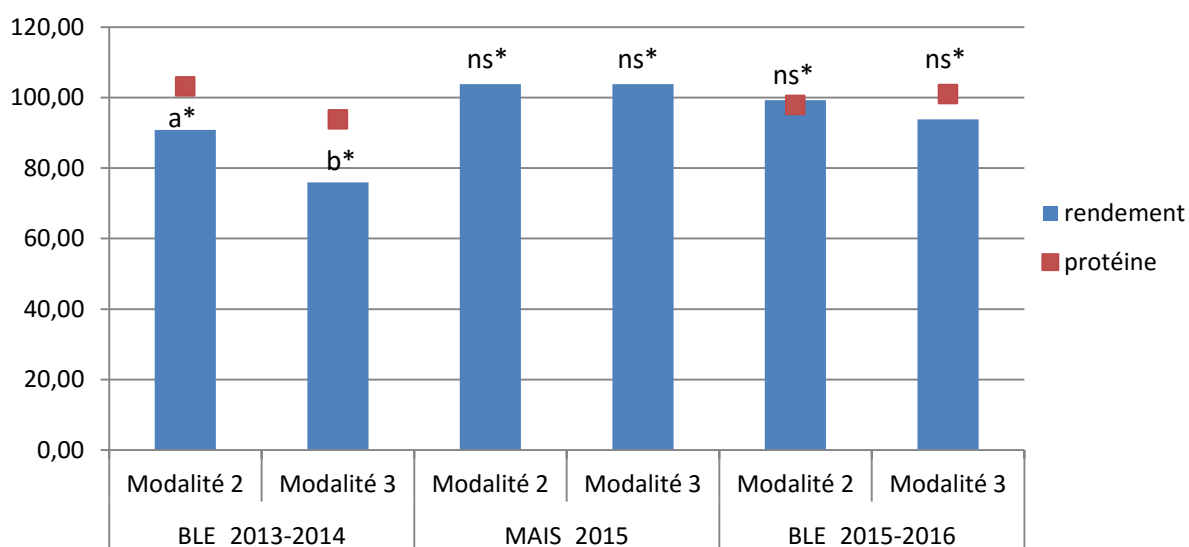
	Dicotylédones							Graminées			Total / m ²	
	Mouron	Renoncules	Seneçon	Chénopodes	Crucifères	Laiteron	Liseron	Ray-grass	Repousses cér.	Brome		Pâturin
Modalité 1	1	1	3	13	2	14	0	93	25	0	10	195
Modalité 2	69	11	7	0	24	0	8	5	28	1	0	193
Modalité 3	62	21	7	3	4	0	0	40	43	7	2	210

Le nombre total d'adventices par m² est similaire entre les modalités (environ 200 mauvaises herbes/m²). En revanche, les espèces diffèrent. La modalité 1 est riche en chénopode, laiteron et ray-grass alors que les modalités 2 et 3 sont dotées de mourons, renoncules et ray-grass (en moindre proportion).

XI. Conclusion

Voici les conclusions sur différents points en comparaison du témoin :

Comparaison des rendements et taux de protéine du blé en pourcentage du témoin



*Des tests statistiques ont été réalisés et montrent des différences significatives entre modalités seulement pour l'année 2013-2014. ns=non significatif

Concernant le rendement et la qualité de la récolte des différences sont observées seulement la première année. Des analyses de valeurs alimentaires ont été réalisées sur l'ensilage de maïs sans montrer de différence significative entre modalité.

Sur le sol	2 : Bactériosol® et azote à dose X	3 : Bactériosol® et azote à dose réduite (préconisation fabricant)
Améliore la disponibilité en azote minéral		
Améliore la structure du sol sur 0-20 cm		*
Améliore la biomasse microbienne		
Favorise les vers de terre		
Améliore la teneur en MO et en azote total		

Oui

=

Non

Estimation faite par rapport au témoin (conduite classique sans Bactériosol®).

*On a constaté une compaction entre 20 et 30 cm sans pouvoir en expliquer la raison (compaction non liée à la modalité).

➤ Performances de rendement & qualité

Par rapport au témoin (modalité 1), les 2 modalités utilisant du Bactériosol® maintiennent difficilement le rendement et la qualité.

➤ Performances sur le sol

Les indicateurs choisis nous permettent de distinguer de légères améliorations concernant la modalité 3 sur la vie microbienne, la présence et les formes de vers de terre ainsi que sur les teneurs en MO et en azote total.

Sur la structure, les conclusions sont moins marquées car malgré un impact positif de la modalité 3 sur les 20 premiers centimètres (certainement à relier à la présence plus importante d'endogés), la structuration en profondeur reste moins bonne.

➤ Conclusions et perspectives

Les résultats de ces 3 années d'expérimentation nous permettent de noter un effet légèrement positif sur le sol en utilisant le Bactériosol® avec les préconisations fabricant. Toutefois ces effets restent à confirmer dans le temps (comment évolueront-ils ?) et sont à mettre en lien avec les objectifs de l'agriculteur. Ce bénéfice ne se traduit pas directement sur la production et la qualité des récoltes qui restent impactées négativement. Les effets bénéfiques sur le sol étant difficilement chiffrables, l'utilisation de ce biostimulant sur 3 ans ne permet pas un retour sur investissement (coût du Bactériosol® d'environ 150 €/Ha à chaque épandage).