

## IMPACT DES CULTURES INTERMÉDIAIRES SUR LES PROPRIÉTÉS CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES DES SOLS

J LABREUCHE <sup>(\*)</sup>, A GEILLE <sup>(1)</sup>, A BOUTHIER <sup>(2)</sup>, JP COHAN <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> ARVALIS-Institut du végétal Station expérimentale 91720 BOIGNEVILLE – France

<sup>(2)</sup> ARVALIS-Institut du végétal Domaine expérimental du Magneraud 17700 SAINT PIERRE D'AMILLY – France

<sup>(3)</sup> ARVALIS-Institut du végétal Station expérimentale de La Jaillière 44370 LA CHAPELLE SAINT SAUVEUR – France

\* Orateur et correspondant : [j.labreuche@arvalisinstitutduvegetal.fr](mailto:j.labreuche@arvalisinstitutduvegetal.fr)

### RÉSUMÉ

Un essai de longue durée a comparé des campagnes 2003/2004 à 2013/2014 un sol nu et différentes espèces de cultures intermédiaires dans un limon argileux du sud du bassin parisien. Son originalité a été d'étudier sur la durée les impacts sur les cultures et sur le sol de crucifères, graminées, composées, hydrophyllacées, légumineuses ou associations d'espèces. Cet essai a été principalement conduit au cours d'une succession de céréales de printemps et les cultures intermédiaires ont été implantées lors de chaque interculture. Leur niveau moyen de croissance était de 2.0 t<sub>MS</sub>/ha avec des écarts sensibles selon l'année et l'espèce de couvert. Des analyses de sol physico-chimiques et microbiologiques ont été réalisées le printemps 2014 (dernière année de l'essai) sur l'horizon 0-20 cm sur chaque modalité. La présence des cultures intermédiaires pendant onze campagnes d'affilée n'a pas eu d'impact sur les teneurs en K<sub>2</sub>O échangeable, MgO échangeable et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Olsen ainsi que le pH. Les couverts n'ont pas eu d'impact significatif sur les teneurs en carbone organique et azote total du sol. En revanche, en comparant le sol nu aux cultures intermédiaires ou même en comparant certains couverts entre eux, il existe un effet significatif sur la biomasse microbienne, les quantités de carbone et d'azote minéralisés en 28 jours au laboratoire ou encore les métabolites microbiens azotés. Les résultats obtenus pour le potassium, le phosphore et le pH ont été confirmés sur quatre autres essais de longue durée comparant la présence ou l'absence de cultures intermédiaires. Chacun de ces essais était cependant situé sur des sols bien pourvus.

Mots-clés : cultures intermédiaires, sol, matières organiques, phosphore, potasse

### INTRODUCTION

La mise en place de cultures intermédiaires est une pratique en développement, pour des raisons réglementaires et/ou agronomiques. Par leurs fonctions de recyclage d'éléments minéraux, de fixation symbiotique d'azote dans le cas des légumineuses et de fixation de carbone par photosynthèse, les couverts modifient les flux de carbone, d'azote ou d'autres éléments minéraux dans les sols agricoles. A ce titre, ils sont fréquemment mis en avant dans la littérature scientifique ou technique pour leur contribution bénéfique à la « fertilité » des sols, qu'elle soit physique (structure du sol), chimique (notamment statut organique et fourniture d'azote du sol) ou biologique. La plupart du temps, les évolutions des propriétés physico-chimiques ou biologiques des sols sont lentes et résultent de différenciations pluriannuelles des pratiques culturales. Les essais de longue durée sont riches d'enseignements à ce niveau.

## MATERIELS ET METHODES

### 1. ESSAI « ESPECES DE COUVERTS » DE BOIGNEVILLE (91)

Un essai de longue durée de comparaison de cultures intermédiaires a été implanté sur la station de Boigneville l'été 2003 (Labreuche et Geille, 2015 ; Labreuche, 2015 ; Cohan et Labreuche, 2015 ; Bouthier et al. 2015). Le climat est de type océanique à influence continentale (température moyenne annuelle de 11.0°C et pluviométrie annuelle de 637 mm/an sur la période 1975-2014). Le sol est un néoluvisol (sol brun calcique faiblement lessivé) qui résulte d'un dépôt de limon éolien sur un substratum calcaire. La couche arable est un limon argileux (tableau 1), posée sur une argile limoneuse. L'enracinement des cultures est de 60 à 100 cm.

Tableau 1 : Principales caractéristiques physico-chimiques de la couche arable du sol sur l'essai « espèces de couverts » de Boigneville. Analyses réalisées en mai 2014 sur la modalité T1.

Après décarbonatation					pH eau	Calcaire total (%)	Matières organiques (%)
Argile (%)	Limon fin (%)	Limon grossier (%)	Sable fin (%)	Sable grossier (%)			
23.7	29.4	37.0	6.4	1.5	7.15	<0.1%	1.83%

L'essai compare différentes modalités de conduite de l'interculture sur onze campagnes d'affilée (tableau 2). Le même type de couvert est le plus souvent répété, années après années sur les mêmes parcelles : sol nu, moutarde, seigle, phacélie, légumineuses... Les parcelles élémentaires faisaient 120 m<sup>2</sup> avec 3 répétitions. Les cultures mises en place dans l'essai étaient en majorité des céréales à paille de printemps et les couverts étaient systématiquement présents lors de chaque interculture.

Tableau 2 : Cultures et couverts implantés des campagnes 2003/2004 à 2013/2014 sur l'essai « espèces de couverts » de Boigneville.

Campagne	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014
Couverts	T1	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU
	T2	MO BL	MO BL	MO BL	MO BL	MO BL	MO BL	MO BL	MO BL	MO BL	MO BL
	T3	RAD F	RAD F	RAD F	RAD F	RAD F	RAD F	RAD F	RAD F	RAD F	RAD F
	T4	SEIG	SEIG	SEIG	SEIG	SEIG	SEIG	SEIG	SEIG	SEIG	SEIG
	T5	AV H	AV H	AV R	AV R	AV R	AV R	AV P	AV R	AV R	AV R
	T6	AV H +VC	AV H +VC	AV R +VC	AV R +VC	AV R +VB	AV R +VB	AV P +VB	AV R +VB	AV R +VB	AV R +VB
	T7	PHAC	PHAC	PHAC	PHAC	PHAC	PHAC	PHAC	PHAC	PHAC	PHAC
	T8	TOURN	TOURN	TOURN	TOURN	TOURN	TOURN	TOURN	NIG	NIG	NIG
	T9	SAR	FEV	VC	VC	VB	VB	VB	VB	VB	VB
	T10	SEIG	PP	LEG	PF	PF	LENT	LENT	LENT	LENT	TI
	T11	SEIG	AV H +PP	MO BL +N	MO BL +N	MO BL +N	MO BL +N	MO BL +N	MO BL +N	MO BL +N	MO BL +N
	T12	MOU BL	AV P	SEIG +N	AV R +N	AV R +N	AV R +N	AV P +N	AV R +N	AV R +N	AV R +N
Culture (pour T1 à T12)	OP	OP	OP	OP	OP	OP	BDP	BDP	PPT	BTH	OP

AV H : avoine d'hiver ; AV P : avoine de printemps ; AV R : avoine rude ; BDP : blé dur de printemps ; BTH : blé tendre d'hiver ; FEV : féverole de printemps ; LEG : pois, féverole ou vesce ; LENT : lentille noirâtre ; MO BL : moutarde blanche ; N : 50 kg/ha d'azote ; NIG : niger ; NU : sol nu ; OP : orge de printemps ; PF : pois fourrager ; PHAC : phacélie ; PP : pois potager ; PPT : pois de printemps ; RAD F : radis fourrager ; SAR : sarrasin ; SEIG : seigle ; TI : trèfle incarnat ; TOURN : tournesol ; VB : vesce du Bengale ; VC : vesce commune de printemps

L'itinéraire type de conduite de l'interculture était le suivant :

- 1<sup>o</sup> août : Déchaumage superficiel après moisson
- 20 août : Préparation de sol combinée au semis du couvert (Horsch Sème Exact). L'outil a également travaillé le sol nu.
- 20 novembre : destruction chimique des couverts
- 10 mars : semis de la culture de printemps sans travail du sol

Le sol a cependant été travaillé profondément lors de deux automnes : 2011 puis 2012. On peut considérer que ces deux labours ont homogénéisé les teneurs en différents éléments au sein de la couche arable (0-20 cm).

La biomasse des parties aériennes des cultures intermédiaires a été mesurée quelques jours avant leur destruction. Le pivot a été pris en compte dans le cas du radis. La teneur en azote de

ces couverts a été mesurée systématiquement. Les teneurs en minéraux comme le phosphore ou la potasse n'ont été analysées que les automnes 2003 et 2004. Le rendement des cultures a été mesuré chaque année, de même que ses composantes.

Une analyse de sol a été réalisée en mai 2014, quelques semaines avant l'arrêt de l'essai. Il est à noter qu'aucun état initial des propriétés physico-chimiques et biologiques du sol (« point zéro ») n'avait été fait à la mise en place de l'essai car ce dernier était initialement annuel avant d'être ensuite pérennisé. Les prélèvements et analyses de 2014 ont été faits sur chaque parcelle élémentaire, permettant une analyse statistique des résultats. Les prélèvements ont été réalisés sur l'horizon 0-20 cm, par parcelle élémentaire, en vue d'analyses physico-chimiques ou biologiques. La texture et les oligo-éléments ont été mesurés pour la modalité 1. La densité apparente du sol a été mesurée sur 3 sous-horizons de 0-20 cm pour chaque bloc sur la modalité 1 (0-5, 5-12, 12-20 cm). D'autres analyses ont été faites pour les traitements 1 à 12 (pH eau et KCl, calcaire total, CEC Metson, CaO, K<sub>2</sub>O échangeable, MgO échangeable, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Olsen, azote total, carbone organique). Des paramètres biologiques ont été mesurés sur les modalités 1, 2, 5, 6, 9 et 10 (fractionnement des matières organiques : carbone et azote ; biomasse microbienne ; quantité de carbone et azote minéralisés en 28 jours ; FDA hydrolase ; métabolites microbiens azotés par autoclavage ou matière organique labile « N-MOL » ; biodiversité fonctionnelle appréciée par 2 indicateurs : l'activité métabolique globale AWCD et l'indice de biodiversité fonctionnelle IBF).

Afin d'interpréter les teneurs observées en K<sub>2</sub>O échangeable et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Olsen, des bilans de masse ont été réalisés depuis le début de l'essai (été 2003) jusqu'à l'analyse de sol (printemps 2014). Les bilans de masse s'appuient sur :

- La biomasse des parties aériennes des couverts pendant 11 intercultures (été 2003 à 2013). Les parties racinaires n'ont pas été intégrées, sauf le pivot du radis.
- La teneur en K<sub>2</sub>O et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> des couverts a été analysée dans l'essai les automnes 2003 et 2004. Pour les autres années, nous avons retenu des teneurs moyennes par espèce observée entre les automnes 2001 à 2005 sur différents sites (Thibie-51, Amponville-77, Boigneville-91).
- Le rendement des cultures de vente des récoltes 2004 à 2013.
- Les rapports paille/grain mesurés 7 années sur 10 dans 4 à 6 modalités. Pour les valeurs manquantes, nous avons retenu soit la valeur moyenne des modalités sur lesquelles les mesures ont été effectuées, soit un rapport paille/grain moyen pour l'espèce récoltée en l'absence de mesure cette année-là dans l'essai.
- Les teneurs en K<sub>2</sub>O et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> des pailles et grains n'ont pas été mesurées dans l'essai. Nous nous sommes appuyés sur les teneurs en K<sub>2</sub>O et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> des pailles et grains à l'humidité de référence, publiées par le Comifer en 2007.
- Les apports de phosphore et potasse sous forme d'engrais minéraux (pas d'apports organiques).

Ces bilans de masse en K<sub>2</sub>O et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> permettent de calculer :

- la contribution relative des couverts végétaux aux prélèvements dans le sol, en comparaison à ceux des cultures et aux apports
- un bilan entre les apports (engrais) et les exportations (grain).

Afin d'interpréter les teneurs du sol en carbone organique, les apports de carbone au sol ont été calculés :

- La biomasse des parties aériennes des couverts pendant 11 intercultures (été 2003 à 2013). Les parties racinaires n'ont pas été intégrées, sauf le pivot du radis.
- Le rendement des cultures de vente des récoltes 2004 à 2013.
- Les rapports paille/grain mesurés 7 années sur 10 dans 4 à 6 modalités. Pour les valeurs manquantes, nous avons retenu soit la valeur moyenne des modalités sur lesquelles les mesures ont été effectuées, soit un rapport paille/grain moyen pour l'espèce récoltée en l'absence de mesure cette année-là dans l'essai.
- La teneur en carbone des végétaux retenue est de 40%, quelle que soit la plante.

Les apports de carbone au sol calculés intègrent les parties aériennes des couverts végétaux ainsi que les pailles des cultures.

Les stocks de carbone ont été calculés pour l'horizon 0-20 cm en prenant comme densité apparente celle mesurée sur la modalité T1, bloc par bloc (densités pondérées des horizons 0-5, 5-12 et 12-20 cm).

Un bilan d'azote a été réalisé le printemps 2014 sur les modalités T1, T2, T5, T6, T9 et T10. Il estime les fournitures d'azote par le sol en additionnant le reliquat après récolte et l'azote

absorbé par l'orge de printemps à la récolte dans des témoins sans azote et auxquels on soustrait le reliquat d'azote minéral du sol mesuré le 14 mai 2014. L'orge a été semée le 4 mai (le semis de mars a été un échec et a été détruit). Les analyses de sol physico-chimiques et biologiques ont été faites entre le 15 et le 20 mai, donc à une période très proche.

## **2. EXPERIMENTATIONS DE THIBIE, BIGNAN, BOIGNEVILLE, AMPONVILLE ET KERLAVIC**

Les résultats de cinq autres essais sont analysés dans cet article, dont quatre concernant l'impact des cultures intermédiaires sur la teneur en cations échangeables et phosphore de la couche arable.

L'essai de Thibie (51), dispositif AREP conduit par ARVALIS, compare depuis l'automne 1990 des parcelles avec et sans cultures intermédiaires dans une rotation betterave-pois-blé puis betterave-blé-orge puis betterave-blé-colza. Le sol est une rendzine sur craie, labourée annuellement. Le couvert était la plupart du temps un radis, plus rarement une céréale d'hiver (couverts présents pendant 18 intercultures sur 25 années). Une analyse de sol a été réalisée sur l'horizon 0-20 cm et 3 blocs, en avril 2015.

L'essai de Bignan (56) était installé sur un limon sableux profond sur schiste, riche en matières organiques (3,0 %). La rotation culturale était maïs grain-blé de 1993 à 2004. Une seule culture était présente chaque année. Les cultures étaient systématiquement implantées sur labour, contrairement au couvert de ray-grass d'Italie. Ce couvert, présent une année sur deux derrière blé, était détruit en février. La comparaison avec et sans ray grass a eu lieu de 1993 à 2003. Une analyse de sol a eu lieu en janvier 2006, sur l'horizon 0-30 cm.

L'essai « MP2 » de Kerlavic (29) a été conduit en partenariat entre la Chambre d'Agriculture de Bretagne et Arvalis-Institut du végétal sur un limon sableux sur granite, riche en matières organiques (6,0 %). L'essai a comparé des étés 1996 à 2004 dans les parcelles analysées des modalités avec et sans couvert de ray-grass, présent une année sur deux derrière blé dans une rotation maïs fourrage-blé. L'analyse de sol a été réalisée en décembre 2004, sur 0-30 cm. Nous ne disposons que des valeurs moyennes pour les 3 blocs.

Enfin, l'essai « E » a été mis en place à Boigneville l'automne 1991, sur un limon argileux sur calcaire d'environ 70 cm d'épaisseur (Laurent et Fontaine, 2006). Une seule culture est présente chaque année dans cette rotation pois-blé-orge de printemps. Le couvert est une moutarde, systématiquement implantée dans chacune des trois intercultures de la rotation. Chacune des modalités (sol nu – moutarde) est par ailleurs conduite sous deux régimes de travail du sol : labour ou semis direct (utilisés en continu pour l'implantation des cultures principales). Une analyse de sol a été réalisée l'automne 2001, sur 4 horizons de la couche arable (0-5, 5-10, 10-15 et 15-31 cm, 31 cm étant la profondeur des anciens labours). Pour simplifier le traitement des données, les valeurs de chaque horizon ont été pondérées de l'épaisseur de l'horizon dont elles proviennent afin d'obtenir une teneur moyenne pondérée pour 0-31 cm.

En complément, l'essai d'Amponville (77) a permis de comparer 15 espèces de cultures intermédiaires l'automne 2004, sur un limon argileux sur calcaire. Les teneurs en éléments minéraux des couverts y ont été mesurées.

## **RESULTATS**

### **1. PRODUCTION DE BIOMASSE AERIENNE PAR LES COUVERTS ET TENEUR EN ELEMENTS MINERAUX ABSORBES SUR L'ESSAI « ESPECES DE COUVERTS » DE BOIGNEVILLE**

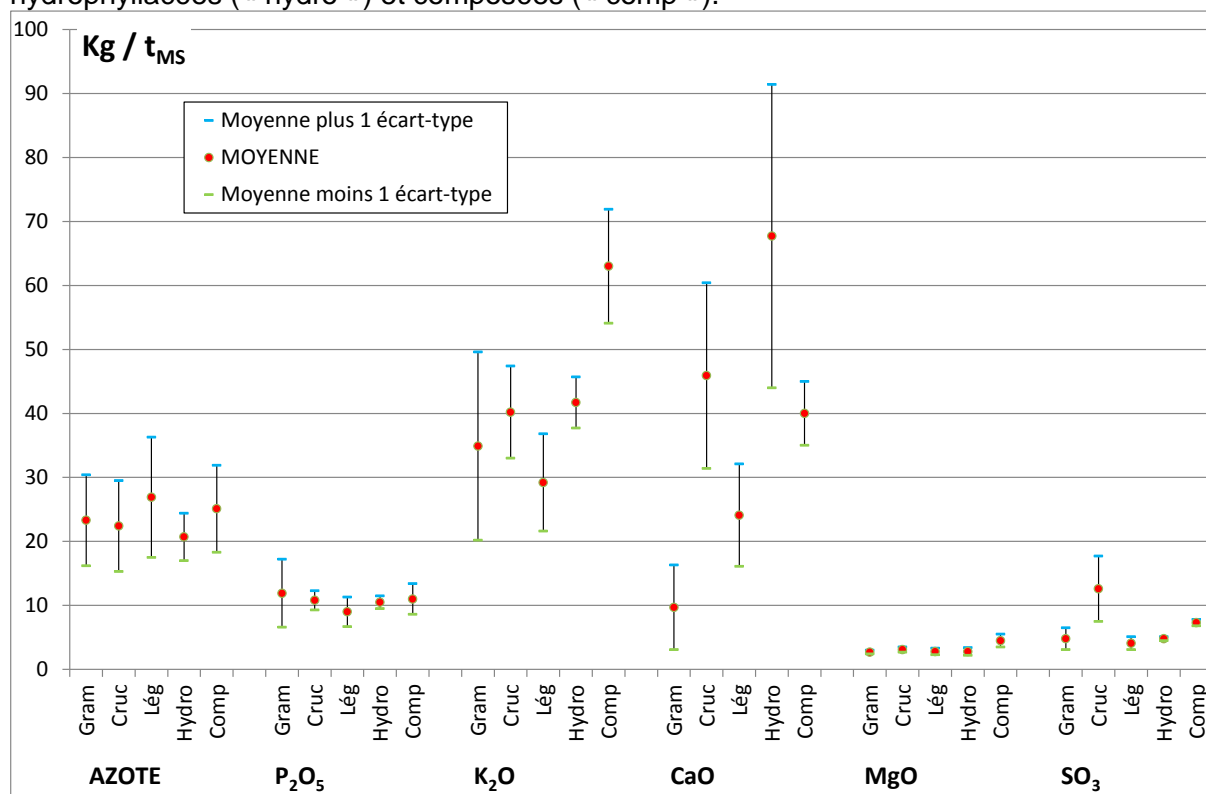
Les couverts ont produit en moyenne une biomasse de 2.0 t<sub>MS</sub>/ha (tableau 3). Les espèces ayant produit le plus de biomasse sont les crucifères (radis en particulier) et la phacélie. Les couverts fertilisés (modalités 11 et 12) ont produit des biomasses parmi les plus élevées. L'effet année est encore plus fort que l'effet espèce de couvert. L'essai s'est caractérisé les premières années par des difficultés à produire des biomasses significatives, faute de suffisamment d'azote disponible (précédent orge de printemps laissant des reliquats post-récolte souvent limités, faible minéralisation estivale ou automnale). Des difficultés à la levée des couverts ont aussi pu pénaliser le développement des couverts. Les trois meilleures campagnes (automne 2010 à 2012) s'expliquent par des précédents ayant laissé des quantités d'azote assez élevées dans le sol : blés durs ayant produit de faibles rendements, pois de printemps.

Tableau 3 : Biomasse ( $t_{MS}/ha$ ) à la destruction des couverts implantés des campagnes 2003/2004 à 2013/2014 dans l'essai « espèces de couverts » de Boigneville.

Modalité	Couvert	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	Moyenne
T1	Sol nu	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
T2	Moutarde	1.4	0.9	1.1	1.3	1.0	1.4	0.7	3.9	4.7	4.9	1.9	2.1
T3	Radis	1.8	2.0	3.1	2.8	2.4	2.3	1.2	3.7	7.6	9.7	2.3	3.5
T4	Seigle	1.9	0.6	0.9	1.1	0.6	0.8	0.8	1.6	1.9	3.3	0.9	1.3
T5	Avoine	1.6	0.8	1.5	1.2	1.3	0.6	0.9	3.1	1.4	1.4	1.5	1.4
T6	Avoine + Vesce	2.1	0.9	1.7	1.6	1.0	1.2	1.5	3.3	2.3	1.8	1.4	1.7
T7	Phacélie	1.8	1.8	2.0	1.8	2.0	1.4	0.8	3.3	5.3	3.4	1.6	2.3
T8	Tournesol/Niger	0.8	0.7	2.6	2.0	0.3	0.7	0.6	2.8	2.0	3.8	0.0	1.5
T9	Vesce	0.5	0.6	0.7	1.2	0.7	1.7	1.4	4.1	3.5	3.7	1.9	1.8
T10	Pois/Lentille/Trèfle	1.9	0.4	1.8	2.8	0.3	1.5	0.9	3.0	3.6	4.9	0.5	2.0
T11	Moutarde + N	1.9	0.9	2.3	2.6	2.3	1.8	1.3	4.5	5.0	5.1	3.3	2.8
T12	Avoine + N	1.4	0.7	1.1	2.4	1.7	1.2	1.8	4.3	2.0	2.4	2.9	2.0
Moyenne T2 à T12		1.6	0.9	1.7	1.9	1.2	1.3	1.1	3.4	3.6	4.0	1.7	2.0

Les analyses réalisées montrent des différences de teneurs en éléments minéraux dans les parties aériennes des cultures intermédiaires (figure 1). Ces résultats sont bien connus pour l'azote, les légumineuses étant en général les plus riches. De telles différences ont également pu être mises en évidence pour le potassium et le soufre. Dans le premier cas, ce sont les composées (tournesol, niger) qui ont montré les plus fortes teneurs. Pour le soufre, il s'agit des crucifères.

Figure 1 : Teneurs en éléments minéraux des parties aériennes pour les principales familles de cultures intermédiaires. Pour l'azote, données issues de l'essai "espèces de couverts" à Boigneville (03-04 à 13-14). Pour les autres minéraux, données issues d'essais à Boigneville (03-04 et 04-05), Amponville-77 (04-05) et Thibie-51 (00-01). Les couverts sont regroupés par famille : graminées (« gram »), crucifères (« cruc »), légumineuses (« lég »), hydrophyllacées (« hydro ») et composées (« comp »).



## 2. RESULTATS DES ANALYSES DE SOL, CHIMIQUES OU BIOLOGIQUES SUR L'ESSAI « ESPECES DE COUVERTS » DE BOIGNEVILLE

Les résultats ne montrent aucune différence significative entre les modalités, pour tous les paramètres classiques d'une analyse physico-chimique de sol : pH eau ou KCl, calcaire total, CEC Metson, cations échangeables, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Olsen, azote total, carbone organique (tableau 4). La proportion du carbone organique ou de l'azote total dans les différentes fractions 0-50 µ, 50-200 µ ou 200-2000 µ n'est pas non plus statistiquement différente. Il n'y a pas d'écart sur le rapport carbone/azote, sauf sur la fraction 50-200 µ.

En revanche, certains indicateurs « biologiques » montrent des écarts significatifs entre modalités (tableau 4). C'est le cas de la biomasse microbienne, du carbone ou de l'azote minéralisé à 28 jours et des métabolites microbiens azotés (N-MOL). Pour ces 4 indicateurs, le sol nu (T1) présente les valeurs les plus basses, dans le groupe statistique le plus bas. La quantité de métabolites microbiens azotés est bien corrélée à la quantité de biomasse par les différentes espèces de cultures intermédiaires (Bouthier et al., 2015). Concernant la biomasse microbienne et la minéralisation de l'azote à 28 jours, c'est plus l'espèce de couvert qui semble déterminante que la biomasse produite par les couverts. Les légumineuses sortent en tête à ce niveau, probablement en lien avec la teneur en azote de leurs résidus.

D'autres indicateurs biologiques n'ont en revanche pas montré d'écarts significatifs entre modalités : FDA hydrolase, aptitudes métaboliques AWCD et indice de biodiversité fonctionnelle IBF.

Il n'y a pas non plus d'écart significatif quant aux quantités d'azote minéralisé sous culture calculées par bilan entre mai et août 2014 (tableau 4), et ceci malgré une différenciation de la conduite de l'interculture onze campagnes d'affilée. On ne trouve pas de relation entre ce bilan d'azote et des indicateurs microbiologiques du sol qui étaient significativement différents entre eux, tels la biomasse microbienne, l'azote ou le carbone minéralisés au laboratoire ou encore les métabolites microbiens « N-MOL ». Les mesures de minéralisation n'ont cependant été réalisées que sur une saison et pas une année complète.

Tableau 4 : Teneurs moyennes de l'horizon 0-20 cm sur l'essai « espèces de couverts » de Boigneville (analyses de mai 2014). Quand ils sont différents, les groupes de Newman Keuls à 5% sont indiqués entre parenthèses.

Modalité	K <sub>2</sub> O échangeable (mg/kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Olsen (mg/kg)	Azote Total (%)	Carbone organique (%)	Rapport C/N	Biomasse microbienne (mg/kg)	C minéralisé 28 jours (mg/kg MS)	N minéralisé 28 jours (mg/kg MS)	N-MOL (mgN/kg)	Bilan 14 mai-5 août 2014 (kgN/ha)
T1 Sol nu	282	89.1	0.123	1.06	8.68	162.7 (D)	152.1 (C)	7.5 (B)	21.8 (B)	50.3
T2 Moutarde	286	87.0	0.123	1.15	9.33	216.9 (BC)	192.8 (B)	8.4 (B)	23.9 (A)	55.7
T3 Radis	311	82.8	0.123	1.12	9.11					
T4 Seigle	286	80.2	0.124	1.12	9.03					
T5 Avoine	257	80.6	0.116	1.04	8.94	193.5 (CD)	179.1 (BC)	11.4 (A)	22.2 (AB)	48.7
T6 Avoine-Vesce	270	78.0	0.123	1.10	8.97	251.8 (AB)	231.8 (A)	8.9 (B)	22.9 (AB)	54.7
T7 Phacélie	296	78.2	0.124	1.13	9.11					
T8 Tournesol/Niger	299	89.6	0.123	1.07	8.70					
T9 Vesce	287	88.0	0.122	1.10	9.07	282.3 (A)	171.8 (BC)	12.6 (A)	23.0 (AB)	56.0
T10 Pois/Lentille/Trèfle	289	87.3	0.122	1.10	8.97	281.8 (A)	183.5 (BC)	11.9 (A)	23.4 (AB)	48.7
T11 Moutarde +N	286	84.2	0.124	1.14	9.23					
T12 Avoine +N	276	86.5	0.127	1.17	9.22					
<b>Moyenne</b>	<b>285</b>	<b>84.3</b>	<b>0.123</b>	<b>1.11</b>	<b>9.03</b>	<b>231.5</b>	<b>185.2</b>	<b>10.11</b>	<b>22.9</b>	<b>52.3</b>
Ecart-type résiduel	24	10.1	0.006	0.07	0.35	24.1	14.4	0.74	0.7	8.1
p-value	0.48	0.87	0.90	0.69	0.52	0.0005	0.0011	0.00003	0.052	0.74

### 3. RESULTATS DES ANALYSES DE SOL CHIMIQUES SUR LES ESSAIS DE THIBIE, BIGNAN, BOIGNEVILLE ET KERLAVIC

Les résultats ne montrent aucune différence significative entre les modalités avec et sans cultures intermédiaires, toutes choses égales par ailleurs, pour les teneurs en K<sub>2</sub>O et MgO échangeables, en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Olsen ou encore pour le pH eau (tableaux 5 à 8). Ils confirment ce qui a été observé sur l'essai « espèces de couverts » de Boigneville. Pour mémoire, ces impacts sont observés après la mise en place de 4 à 6 couverts pour Kerlavic et Bignan, 10 à 11 couverts pour les 2 essais « espèces » et « E » de Boigneville et 18 couverts pour Thibie.

Tableau 5 : Teneurs moyennes de l'horizon 0-30 cm sur l'essai de Bignan (56). Analyses de janvier 2006. Quand ils sont différents, les groupes de Newman Keuls à 5% sont indiqués entre parenthèses.

	K <sub>2</sub> O échangeable (mg/kg)	MgO échangeable (mg/kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Olsen (mg/kg)	pH eau
T1 RGI	193.3 (B)	197	81	6.5
T2 Sol nu	186.7 (B)	193	92	6.6
T3 RGI + Lisier	236.7 (A)	200	99	6.6
T4 Sol nu + Lisier	246.7 (A)	207	103	6.7
ETR	8.2	5.5	10.1	0.08

Tableau 6 : Teneurs moyennes de l'horizon 0-30 cm sur l'essai de Kerlavic (29). Analyses de décembre 2004. Essai en partenariat avec la Chambre d'Agriculture de Bretagne.

	K <sub>2</sub> O échangeable (mg/kg)	MgO échangeable (mg/kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Dyer (mg/kg)	pH eau
T6 Sol nu	250	110	430	5.6
T7 RGI	220	110	450	5.6

Tableau 7 : Teneurs moyennes de la couche arable sur 4 modalités de l'essai « E » de Boigneville (91). Analyses de l'automne 2001. Quand ils sont différents, les groupes de Newman Keuls à 5% sont indiqués entre parenthèses.

	K <sub>2</sub> O échangeable (mg/kg)	MgO échangeable (mg/kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Olsen (mg/kg)	pH eau
Labour N°2	278.5 (A)	150.4	87.0	7.15
Labour + Moutarde N°5	262.1 (AB)	169.1	81.7	7.15
Semis direct N°7	261.7 (AB)	166.0	77.4	7.25
Semis direct + Moutarde N°8	251.0 (B)	161.9	73.2	7.42
ETR	5.2	8.7	6.6	0.08

Tableau 8 : Teneurs moyennes de l'horizon 0-20 cm sur 2 modalités de l'essai AREP de Thibie (51). Analyses d'avril 2015. Quand ils sont différents, les groupes de Newman Keuls à 5% sont indiqués entre parenthèses.

	K <sub>2</sub> O échangeable (mg/kg)	MgO échangeable (mg/kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Olsen (mg/kg)	pH eau
T1 Sol nu	298.0	128.6	137.4	8.01
T7 Couvert	289.9	117.7	123.5	8.10
ETR	5.7	6.2	20.1	0.10

## DISCUSSION

### 1. ANALYSE DES DONNEES SUR LE PHOSPHORE ET LE POTASSIUM

Sur 5 essais de longue durée, les cultures intermédiaires n'ont pas montré d'impact sur les teneurs en  $K_2O$  échangeable et  $P_2O_5$  Olsen de la couche arable. Leurs fonctions de recyclage, remontées en surface dans la couche arable ou encore solubilisation sont pourtant fréquemment mises en avant (Teboh et Franzen, 2011 ; Tiecher et al., 2012). Kabir et Koide (2002) ont mis en évidence une augmentation de la quantité d'hyphes mycorhiziens derrière des couverts de seigle ou avoine ainsi qu'une amélioration significative de la teneur en phosphore de jeunes plants de maïs 27 jours après semis. Les résultats que nous avons obtenus peuvent s'expliquer de différentes manières :

- Un très faible impact sur le bilan [fumure – exportations]. Il est de -28 kg/ha de  $P_2O_5$  sur sol nu et de -31 kg/ha en moyenne pour les modalités 2 à 12 à Boigneville sur la période été 2003-printemps 2014 (figure 2). Pour le  $K_2O$ , ce bilan est de -31 kg/ha sur sol nu et de -30 kg/ha en moyenne pour les modalités 2 à 12 (figure 3). Les couverts ont néanmoins absorbé de fortes quantités de minéraux (figures 2 et 3). Pour le phosphore, les couverts ont absorbé sur la période étudiée 238 kg/ha contre 494 kg/ha pour les cultures, soit 48% de cette quantité. Pour le potassium, ils ont absorbé 849 kg/ha contre 1201, soit 71%. Malgré ces valeurs élevées, les couverts ne modifient pas le bilan [fumure-exportation] dans la mesure où ils sont détruits et restitués au champ. Il en irait différemment en cas de cultures dérobées (biomasse exportée).
- Des sols globalement bien à très bien pourvus. Les situations limitantes sont souvent plus à même de révéler des différences.
- Au niveau analytique, des analyses plus fines (méthode isotopique pour le phosphore) seraient intéressantes pour mesurer la disponibilité des éléments. La concentration des cultures en éléments minéraux n'a pas été mesurée ici mais aurait mérité de l'être car cela constitue finalement l'enjeu principal en termes de gestion de la fertilité chimique des sols.
- Les espèces citées par la bibliographie comme les plus aptes à augmenter la disponibilité en phosphore (sarrasin, avoine, lupin) ne correspondent pas forcément aux espèces testées dans les essais.

Figure 2 : Comparaison des quantités de phosphore absorbées par les parties aériennes des couverts, cultures et apports d'engrais dans l'essai « espèces de couverts » de Boigneville. Période de l'été 2003 au printemps 2014. Sol nu (+ quelques repousses) = T1. Couverts = moyenne des modalités T2 à T12.

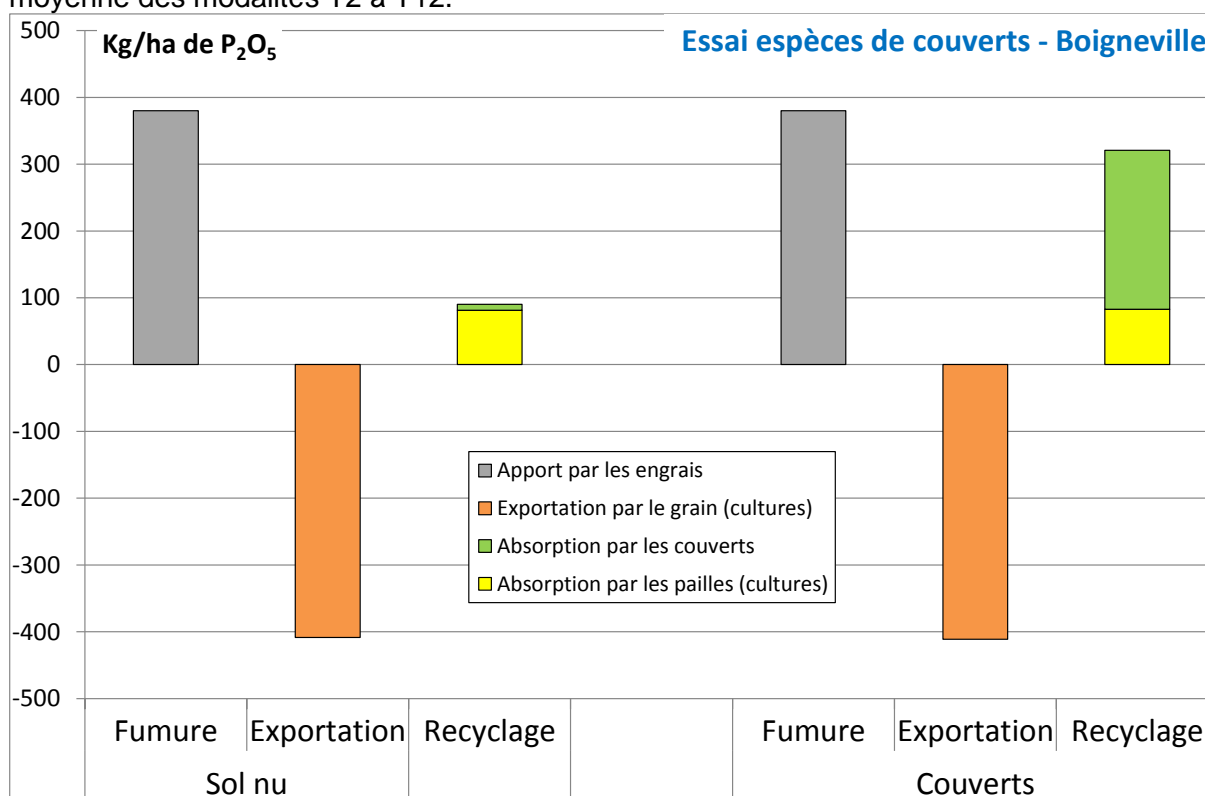
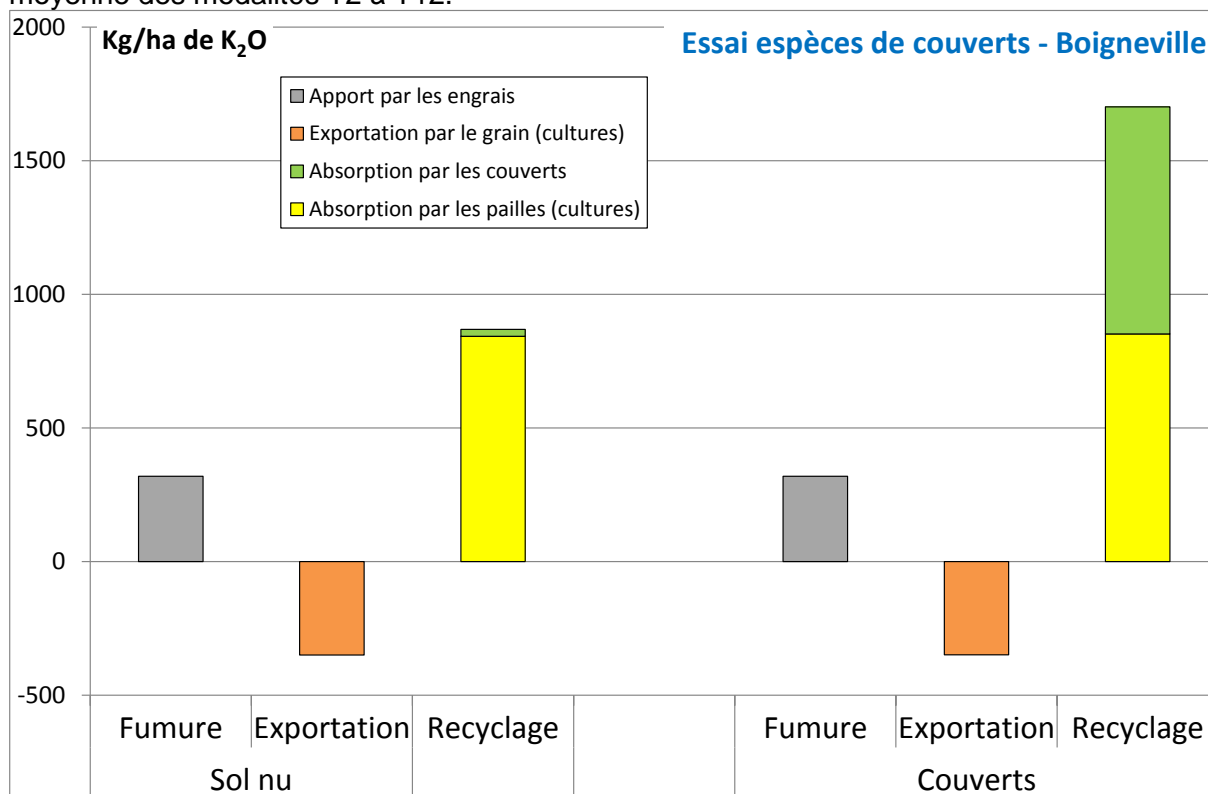




Figure 3 : Comparaison des quantités de potassium absorbées par les parties aériennes des couverts, cultures et apports d'engrais dans l'essai « espèces de couverts » de Boigneville. Période de l'été 2003 au printemps 2014. Sol nu (+ quelques repousses) = T1. Couverts = moyenne des modalités T2 à T12.



## 2. ANALYSE DES DONNEES SUR LE CARBONE ET LES INDICATEURS D'ACTIVITES BIOLOGIQUES DU SOL

Les couverts végétaux, pourtant présents 11 campagnes d'affilée avec une biomasse moyenne de 2 t<sub>MS</sub>/ha n'ont pas engendré une variation significative de la teneur en carbone de la couche arable. Le même constat avait été fait sur l'essai E de Boigneville par Valé et al. (2011) ou Viollet (2012) qui montrent une légère tendance des cultures intermédiaires à provoquer une augmentation (avec des effets rarement statistiquement significatifs) des teneurs en carbone organique ou azote total, du rapport C/N, de la biomasse ou de l'ADN microbiens ainsi que des métabolites microbiens azotés. Constantin et al. (2010) ont montré un effet significatif des cultures intermédiaires sur le stock d'azote total du sol dans les essais de Kerlavic, Thibie et Boigneville (essai E), 13 à 17 ans après le démarrage de ces essais. En revanche, les hausses de stock de carbone étaient rarement significatives dans ces essais.

L'évolution des propriétés des sols est lente et nécessite du temps pour montrer des effets statistiquement significatifs. Un état initial des propriétés physico-chimiques de chaque parcelle élémentaire, à la mise en place de l'essai « espèces de couverts », aurait pu améliorer la précision des données obtenues, pour le carbone par exemple. Des mesures de densité apparente sur chaque parcelle élémentaire auraient aussi amélioré la précision des calculs de stock de carbone ou azote (calculs sur les mêmes masses de terre).

La profondeur des prélèvements de sol réalisés sur l'essai « espèces », sur 0-20 cm, semble également insuffisante. Par exemple, un calcul des écarts par rapport au sol nu des stocks de carbone organique du sol selon les apports de carbone au sol montre un ratio de 17% dans le cas de l'essai « espèces de couverts » sur 0-20 cm. A titre de comparaison, Constantin et al. (2010) avaient obtenu une valeur moyenne de 28% sur les essais de Boigneville (essai « E »), Thibie et Kerlavic avec des mesures sur 24 à 30 cm selon les essais (les analyses n'ayant pas montré de différences avec et sans couvert sur des horizons plus profonds).

L'absence d'impact des couverts végétaux sur le fractionnement granulométrique des matières organiques a été observé dans l'essai espèces de couverts et dans d'autres essais de longue

durée avec et sans cultures intermédiaires. En revanche, d'autres types d'apports organiques au sol comme les produits résiduels organiques ont un impact sur cet indicateur.

Il existe des écarts significatifs de biomasse microbienne, de quantité de carbone ou d'azote minéralisés au laboratoire ou de métabolites microbiens. Ils semblent pouvoir constituer des indicateurs précoces d'évolution des matières organiques du sol, en quantité ou en qualité, les indicateurs classiques comme la teneur en carbone ou le rapport C/N étant plus lents à évoluer, tout du moins pour montrer des écarts statistiquement significatifs.

L'évolution de certains de ces indicateurs semble plus à mettre au crédit des 10 années de présence de cultures intermédiaires plutôt qu'à la présence d'un couvert l'automne 2013. En effet, ce dernier était peu développé et il y a eu un délai de 5 mois et demi entre la destruction de ce dernier et l'analyse de sol.

## **CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

Le bilan à l'issue de onze campagnes de comparaison de sols nus et de différentes espèces de cultures intermédiaires sur un essai montre une absence d'impact significatif sur la teneur en  $K_2O$  échangeable,  $P_2O_5$  Olsen, carbone organique et azote total de la couche arable. Ce constat confirme la lente évolution de certains paramètres physico-chimiques du sol. En revanche, certains indicateurs d'activités microbiologiques du sol tels la biomasse microbienne, les métabolites microbiens azotés et l'azote minéralisé à 28 jours sont significativement supérieurs derrière les cultures intermédiaires par rapport au sol nu.

Sur un plan méthodologique, les résultats obtenus nous rappellent à quel point, lors de la mise en place d'essais de longue durée, il est important d'anticiper les questions posées et les mesures à réaliser (état initial du sol à la parcelle, échantillonnage suffisant pour obtenir des mesures précises...).

Des investigations spécifiques semblent nécessaires concernant l'impact des cultures intermédiaires sur les teneurs en phosphore et potassium du sol (absorption par les cultures, analyses de sol fines comme la méthode isotopique pour le phosphore...). Des investigations en sols pauvres avec des espèces réputées pour leur capacité à valoriser ces éléments semblent par ailleurs souhaitables.

## **REMERCIEMENTS**

Les auteurs de cet article tiennent à remercier pour leur implication dans les différents essais: Gérard Aubrion, Alain Besnard, Pascal Boillet, Sylvain Bureau, Daniel Couture, Damien Gaudillat et Michel Moquet d'ARVALIS-Institut du végétal ; Daniel Hanocq, Pierre Kerveillant, Aurélie Rio et Yves Briand de la Chambre d'Agriculture de Bretagne.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

Bouthier A., Trochard R., Labreuche J., Valé M., Chaussod R. et Nouaïm R. (2015). Couverts végétaux et matières organiques des sols : des effets variés selon les compartiments organiques. Perspectives Agricoles. N°426, pp 26-28.

Cohan J.P. et Labreuche J. (2015). Essai de longue durée sur les couverts intermédiaires : Un impact azote évalué sur plusieurs années. Perspectives Agricoles. N°420, pp 30-34.

Comifer (2007). Teneurs en P, K et Mg des organes végétaux récoltés pour les cultures de plein champ et les principaux fourrages. 6 pages. <http://www.comifer.asso.fr/images/publications/livres/tablesexportgrillescomifer2009.pdf>

Constantin J., Mary B., Laurent F., Aubrion G., Fontaine A., Kerveillant P., Beaudoin N., 2010. Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. Agriculture, Ecosystems and Environment. n°135, pp 268–278.

Kabir Z. et Koide R.T., 2002. Effet of autumn and winter mycorrhizal cover crops on soil properties, nutrient uptake and yield of sweet corn in Pennsylvania, USA. Plant and Soil. N°238, pp 205-215.

Labreuche J. et Geille A. (2015). Couverts végétaux : 11 ans d'essais montrent bien des atouts. Perspectives Agricoles. N°418, pp 41-45.

Labreuche J. (2015). Couverts végétaux : des bénéfiques variables selon les espèces. Perspectives Agricoles. N°419, pp 30-34.

Laurent F. et Fontaine A., 2006. Cultures intermédiaires : une efficacité immédiate et durable. Perspectives Agricoles. N°327, pp 26-30.

Teboh J.M. et Franzen D.W., 2011. Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) potential to contribute solubilized soil phosphorus to subsequent crop. Soil science and plant analysis. 42, pp 1544-1550.

Tiecher T., Rheinheimer dos Santos D., Kaminski J. et Calegari A., 2012. Forms of Inorganic Phosphorus in Soil under Different Long Term Soil Tillage Systems and winter Crops. R. Bras. Ci. Solo, 36, pp 271-281

Viollet A. (2012). Caractérisation de l'abondance et de la biodiversité des communautés microbiennes des sols agricoles : calages méthodologiques et effets cumulatifs du régime de travail du sol. Rapport final projet France Agri Mer - GIS GC-HP2E. 117 p.  
<https://www.gchp2e.fr/Actions-thematiques/Gestion-durable-des-sols/Caracterisation-de-l-abondance-et-de-la-biodiversite-des-communautes-microbiennes-des-sols-agricoles>