

METHA BIOSOL : IMPACT DES DIGESTATS DE METHANISATION SUR LA QUALITE BIOLOGIQUE DES SOLS AGRICOLES

P. Mulliez, M. Cannavacciuolo, P. Piveteau, P. Barré, C. Chauvin, C. Villenave, D. Cluzeau, K. Hoeffner, V. Riou, D. Piron, A. Hermant, A. Scherer, M. Moreira, A. Reibel, V. Jean-Baptiste, G. Vrignaud, S. Sadet-Bourgeteau



Mario Cannavacciuolo (USC 1432 LEVA, Ecole Supérieure des Agricultures d'Angers, INRAE, SFR 4207 QUASAV) Responsable du Plan de Gestion de Données Metha-BioSol



Pierre Mulliez (CAPDL) Chef du projet Metha-BioSol

Introduction et objectif

La filière méthanisation, et notamment la méthanisation agricole, connaît un développement exponentiel depuis plusieurs années. Ce développement rapide s'accompagne de nombreux questionnements légitimes, en particulier sur le retour au sol de digestat en lieu et place des effluents d'élevage produits sur les exploitations.

Le principal objectif du projet Metha-BioSol est d'aider les agriculteurs à évaluer l'impact de leurs pratiques d'épandage de digestats de méthanisation sur la qualité biologique de leur sol à l'aide d'outils opérationnels de type indicateurs biologiques et l'élaboration d'un tableau de bord adapté. *In fine*, cela leur permettra de mieux appréhender les impacts environnementaux de ces pratiques et ainsi la durabilité de leurs productions. Cet objectif principal, se décline en trois sous-objectifs :

1. Générer des données scientifiques actuellement manquantes
 - Volet 1 : sur l'impact à court terme (*via* la mise en place d'essais en conditions contrôlées tels que des meso-microcosmes)
 - Volet 2 : sur l'impact à moyen terme des digestats de méthanisation sur la biologie des sols (*via* trois sites expérimentaux épandant des digestats depuis plus de 3 ans).
2. Évaluer l'**impact des pratiques de valorisation agricole** (volet 3) de digestats de méthanisation sur la qualité biologique des sols. Ceci se fait *via* des enquêtes de pratiques et des prélèvements au champ de 80 parcelles cibles appartenant à un réseau d'agriculteurs déjà utilisateurs de digestats.
3. **Transférer et communiquer les résultats** obtenus aux différents acteurs en lien avec la gestion des digestats de méthanisation (agriculteurs utilisateurs, accompagnateurs de projets, conseillers agricoles, communauté de communes, chercheurs, grand public ...).

Le projet est donc composé d'expérimentations en milieu contrôlé, mais également de prélèvements sur le terrain. Les travaux menés permettront d'une part d'évaluer les effets de la gestion de digestats de méthanisation sur un ensemble cohérent d'indicateurs de qualité biologique du sol, et d'autre part d'évaluer l'influence des types de sols, de la nature des digestats et de l'historique de fertilisation de la parcelle sur ces effets.

A la fin novembre 2023 le projet est à mi-parcours. Le volet 1 est finalisé (exposé oral ce 22 nov Comifer Tours), tandis que les volets 2 et 3 sont encore en cours. Les premiers résultats du volet 2 sont présentés sur poster au présent Comifer, ainsi que la méthodologie du volet 3.

Analyse préalable des pratiques d'apport de digestats existantes au terrain (préalable au projet) :

Avant d'engager les travaux des volets 1 et 3, **une typologie de digestats** et des pratiques agricoles associées a été réalisée. Il s'agissait de considérer les différents critères en lien avec l'épandage de digestats, pouvant influencer l'activité biologique des sols à moyen et long terme.

Cette analyse avait deux objectifs principaux :

- **Définir une typologie de digestats** et les pratiques agricoles associées,
- **Mettre en place un réseau de fermes** épandant du digestat depuis au moins 3 ans.

Trois niveaux de critères réputés impactant ont ainsi été définis à dire d'experts : Niveau 1 : Typologie des digestats / Niveau 2 : Pratiques agricoles / Niveau 3 : Contexte pédo-climatique

Pour chacun de ces critères, différents paramètres ont été pris en compte (Tableau 1). Cette première étape a permis *in fine* de définir les types de digestats à mettre en œuvre pour les expérimentations du volet 1 et les critères de sélection des fermes pour la construction du réseau nécessaire au volet 3.

Tableau 1 : Paramètres retenus pour définir la typologie des digestats et des pratiques associées

N3 -Contexte pédo-climatique																	
N1 - Typologie de digestat		N2 - Pratiques agricoles															
<u>biomasses entrantes:</u> 9 catégories (concept dig)	<u>Post-traitement:</u> Digestat brut Presse à vis centrifugeuse	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Assolement</th> <th>Travail du sol</th> <th>Fréquence/dose apport PRO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- Prairie</td> <td>- Labour</td> <td>- Digestat 1 à 2 ans</td> </tr> <tr> <td>- Culture</td> <td>- TCS</td> <td>- Digestat >3 an</td> </tr> <tr> <td>- Mixte</td> <td>- SD</td> <td>- Digestat et autre PRO 1 à 2 ans</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>- Digestat et autre PRO >3</td> </tr> </tbody> </table>	Assolement	Travail du sol	Fréquence/dose apport PRO	- Prairie	- Labour	- Digestat 1 à 2 ans	- Culture	- TCS	- Digestat >3 an	- Mixte	- SD	- Digestat et autre PRO 1 à 2 ans			- Digestat et autre PRO >3
Assolement	Travail du sol	Fréquence/dose apport PRO															
- Prairie	- Labour	- Digestat 1 à 2 ans															
- Culture	- TCS	- Digestat >3 an															
- Mixte	- SD	- Digestat et autre PRO 1 à 2 ans															
		- Digestat et autre PRO >3															

Définition d'un tableau de bord d'indicateurs biologiques adapté.

Le tableau de bord d'indicateurs utilisé dans Métha-BioSol est adapté au travail réalisé dans le cadre du projet AgrInnov (CASDAR IP 2012-2015). Pour rappel, dans AgrInnov, les indicateurs retenus se basaient sur des mesures de la faune (nématodes et lombriciens) et de la flore microbienne du sol (bactéries et champignons). En effet, le rôle essentiel que jouent ces organismes dans le bon fonctionnement biologique des sols et la durabilité des agrosystèmes explique largement ce choix. Parmi ces critères de sélection des indicateurs, les principaux étaient : 1) d'être validés scientifiquement via des programmes de recherche (ADEME Bioindicateur I et II, ANR ECOMIC-RMQS, ADEME RMQS-BIODIV...), 2) de disposer d'un référentiel d'interprétation pour la viticulture et les grandes cultures, afin de permettre la réalisation d'un diagnostic de l'impact des pratiques agricoles sur la biologie des sols et 3) d'être mesurables à un coût économique abordable, facilement opérationnels sur le terrain et au laboratoire.

Les problématiques environnementales et sanitaires liées au retour au sol des digestats de méthanisation ont incité le *CONSORTIUM* du projet Metha-BioSol à enrichir le tableau de bord d'indicateurs AgrInnov avec deux autres types d'indicateurs : ceux relatifs aux pathogènes des sols et ceux en lien avec les formes et quantités de carbone présentes dans les sols.

Tableau 2 : Tableau de bord de bioindicateurs de la qualité biologique des sols proposés dans le cadre du projet Metha-BioSol

Item	Indicateurs
Lombriciens	Abondance et biomasse totale
	Abondance et biomasse des 4 groupes fonctionnels (épigé, épi-anécique, anécique, endogé)
	Diversité et structure taxonomiques des communautés
Microorganismes	Biomasse moléculaire
	Rapport densité champignons/densité des bactéries
	Diversité taxonomique des bactéries et des champignons
Nématodes	Abondance
	Diversité taxonomique
	Abondance des nématodes phytoparasites
	Indice de structure
	Indice d'enrichissement
Sol	Structure (test bêche)
	Caractéristiques physico-chimiques
	Teneurs en polluants métalliques
	Dégradation de la matière organique (LevaBag)
Pathogènes	Quantification d' <i>E. coli</i>
	Présence de <i>L.monocytogenes</i>
	Présence de <i>K. pneumoniae</i>
	Présence de <i>S. enterica</i>
Carbone	Teneur en Carbone
	Stabilité biogéochimique du carbone (RockEval)

Volet 1 : sur l'impact à court terme (via la mise en place d'essais en conditions contrôlées tels que des meso et microcosmes)

Il s'agissait ici d'étudier d'une part, les impacts liés à la valorisation agronomique des digestats de méthanisation sur la qualité biologique des sols à court terme et, d'autre part, d'identifier les facteurs édaphiques susceptibles de moduler ces impacts. Deux hypothèses étaient considérées : 1) Les impacts sont différents en fonction des types de sol et 2) Les impacts sont différents en fonction de la nature des digestats.

Dans cette étude factorielle, les dispositifs expérimentaux en conditions contrôlées ont permis de réduire le nombre de variables non maîtrisées. Ainsi, l'épandage de digestats a été simulé en conditions de laboratoire à l'aide de mésocosmes et des microcosmes de sol. Les mésocosmes ont permis de produire les résultats relatifs aux indicateurs suivants : nématodes, lombriciens, formes et quantité de carbone, activité de dégradation de la matière organique. Les microcosmes, eux, ont permis de générer des résultats relatifs aux microorganismes et pathogènes du sol (Photos illustrant les expérimentations en micro et mésocosmes (Photos 1 illustrant les expérimentations en micro et mésocosmes (Piveteau Pascal et Cannavacciuolo Mario))



Microcosmes



Mésocosmes

Photos 1 : Dispositif laboratoire méso et microcosmes

Au regard de la typologie effectuée (Tableau 1), six digestats ont été choisis (Figure 1), et comparés à un lisier de porc, un fumier de bovin, une modalité engrais minéral et un témoin eau sans apport. Ces 10 modalités ont été appliquées sur 3 types de sol (limono-argileux (issu de Bourgogne), sableux (issu de PACA)) et limoneux (issu des Pays de Loire) (Figure 2) et dans les mésocosmes (ESA d'Angers) et microcosmes (INRAE Rennes) (Tableau 3). Elles ont été mises en œuvre avec 4 répétitions. Ainsi, pour les expérimentations en microcosmes et en mésocosmes, 120 dispositifs ont été réalisés (10 modalités X 3 types de sols X 4 répétitions).

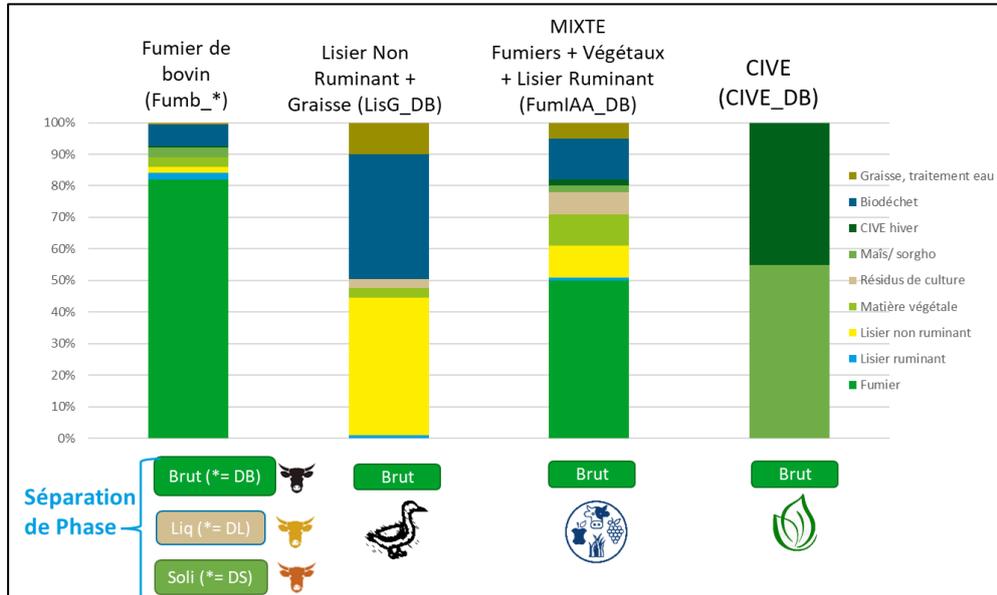


Figure 1 : Composition pondérale des matières entrantes des digesteurs

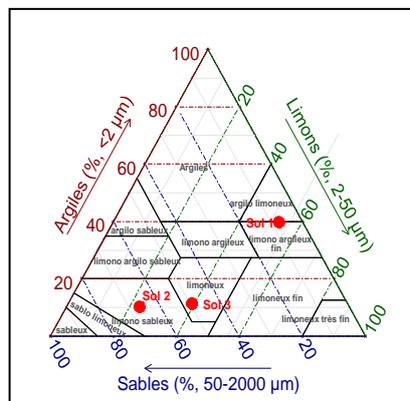


Figure 2 : Texture des 3 types de sol

Tableau 3 : Caractéristiques chimiques initiales des 3 types de sol

	pH	MO g /kg de sol	C g /kg de sol	N g /kg de sol	C/N	CEC Cmol ⁺ / kg de sol	P ₂ O ₅ g /kg de sol
 Limo-argileux	7,96 _a	34,28 _a	20,47 _a	1,74 _a	11,43 _a	25,44 _a	0,07 _a
 Sableux	6,68 _b	13,28 _c	7,67 _c	0,77 _c	10,00 _b	7,10 _b	0,01 _c
 Limoneux	6,63 _c	16,68 _b	9,65 _b	0,99 _b	9,7 _b	6,94 _b	0,04 _b

Les microcosmes ont été construits dans des contenants stériles d'une capacité de 250 ml. Soixante grammes de sol équivalent poids sec ont été rajoutés à chaque microcosme. Avant l'incorporation du digestat, les sols sont pré-incubés à 15°C pendant 14 jours pour permettre la stabilisation du système. Les microcosmes sont aérés une fois par semaine pendant la durée de pré-incubation. Pour cela, après avoir dévissé leur bouchon, les microcosmes sont placés sous un poste de sécurité microbiologique avec la porte fermée pour une durée de 20 minutes. Après cette période de pré-incubation, les matières organiques (digestats, fumier, lisier) sont ajoutées à raison de 0,682 g par microcosme et l'humidité est ajustée à 70% de la capacité au champ du sol. Cet apport de matière organique correspond à une pratique agronomique d'apport de 25 tonnes par hectare (Tableau 4). Pour la solution minérale NO₃NH₄, un apport équivalent total de 120Kg d'N/Ha a été réalisé. Un dernier témoin sans fertilisation est inclus dans le dispositif expérimental avec un ajustement de l'humidité du sol.

Tableau 4 : Caractéristiques des digestats et quantités apportées dans les microcosmes (25T/hect)

Typologie		pH	C/N	COT Kg/ha	Azote total (kg/ ha)	Azote ammoniacal (kg/ ha)	NH ₄ ⁺ /N _{tot} (%)	
Lisier Porc 		7,7	1,5	14,3	55,1	37,4	68	
Fumier bovin 		8,9	18,3	144,5	79,6	11,3	14,2	
DIGESTATS	Fumier de bovin	Brut 	8,8	6,3	74,3	112,2	39,7	35,4
		Solide 	9,3	22,5	213,5	95,9	22,8	23,7
		Liquide 	8,6	3,7	59,4	110,2	53,2	48,3
	MIXTE Fumiers + Végétaux + Lisier Ruminant	Brut 	8,3	2,8	60,6	126,5	57,4	45,4
	CIVE	Brut 	8	4,5	45,7	75,5	24,2	32,1
	Lisier Non Ruminant + Graisse	Brut 	8,4	0,8	20,2	138,8	93	67

Chaque mésocosme est constitué d'un tube de PVC de 20 cm de diamètre et de 45 cm de hauteur. Des billes d'argile ont été déposées au fond de chaque colonne, à hauteur de 5 cm par tube. Un sac de toile à bluter a ensuite été positionné dans chaque mésocosme, afin de laisser l'eau s'écouler vers les billes d'argile, tout en maintenant la terre. Puis, 15 cm de sol brut ont été ajoutés au fond de chacun de ces sacs. Ensuite, 10 cm de sol amendé ont été ajoutés, suite à l'homogénéisation des produits à épandre avec les sols, par mixage ou brassage à la main, selon la proportion de 50 g de digestat pour 10 cm de sol. Des litterbags en maille de 1 mm, mesurant 11 cm sur 6 cm et contenant un poids de paille équivalent à 1,5 g, ont été déposés à plat sur les 10 cm de sol amendé. Puis, l'ajout de 10 cm de sol amendé, à nouveau, a permis de recouvrir les litterbags jusqu'en haut de chaque colonne, avec toujours 50 g d'effluent pour 10 cm de sol.

La quantité totale de produit organique appliquée correspond à une pratique agriculteur d'apport de 35 tonnes par hectare en mésocosmes (Tableau 5). Pour la solution minérale NO₃NH₄, un apport équivalent total de 120Kg d'N/Ha a été réalisé sur les 20 cm supérieurs du sol du mésocosme. Lors du remplissage des mésocosmes, le sol a été tassé pour obtenir des densités apparentes de 1,4 g/cm³ pour le sol 2 ; 1,3 g/cm³ pour le sol 3 et enfin 1 g/cm³ pour le sol 1.

Tableau 5 : Caractéristiques des digestats et quantités apportées dans les mésocosmes (35T/hect)

Typologie			pH	C/N	COT Kg/ha	Azote total (kg/ ha)	Azote ammoniacal (kg/ ha)	NH4+ /Ntot (%)
Lisier Porc 			7,7	1,5	20	77,1	52,4	68
Fumier bovin 			8,9	18,3	202,3	111,4	15,8	14,2
DIGESTATS	Fumier de bovin	Brut 	8,8	6,3	104	157,1	55,6	35,4
		Solide 	9,3	22,5	298,9	134,3	31,9	23,7
		Liquide 	8,6	3,7	83,1	154,3	74,5	48,3
	MIXTE Fumiers + Végétaux + Lisier Ruminant	Brut 	8,3	2,8	84,9	177,1	80,4	45,4
	CIVE	Brut 	8	4,5	64	105,7	33,9	32,1
	Lisier Non Ruminant + Graisse	Brut 	8,4	0,8	28,3	194,3	130,2	67

Après 12 jours de repos des mésocosmes, deux vers de terre (individus) anéciques de l'espèce *Aporrectodea longa longa* (Ude, 1885) ont été introduits dans chaque colonne. En amont de cette introduction, chaque vers de terre a été acclimaté pendant deux semaines dans un des trois sols pour lequel il était destiné. Les vers de terre ont été soumis à un jeûne de 24 heures avant leur introduction et ont été pesés individuellement. Un grillage a ensuite été fixé en haut de chaque mésocosme, par des anneaux en plastique du diamètre de celui des colonnes de sol, afin que les lombriciens ne s'échappent pas. Pour finir, des tubes en carton isolant ont été positionnés autour des mésocosmes, afin que les colonnes de sol soient protégées du soleil durant l'essai. L'étape d'introduction des lombriciens a constitué le début de l'expérimentation. Les mésocosmes ont été désassemblés pour échantillonnage 31 jours après l'introduction des lombriciens dans les mésocosmes.

Impact sur physico-chimie (mésocosmes)

Quarante-deux jours après incubation, la physico-chimie des sols amendés avec les différents matériaux organiques (digestats, fumier...) se discriminait en fonction du type de sol et non du type d'apport (Axe 1 ACP Figure 3). Ainsi, l'axe 1 oppose le sol 1 (Argilo-limoneux) aux sols 2 (Sableux) et 3 (Sablo-limoneux) suivant un gradient de matière organique, de carbone, d'azote total, du pH et du rapport C/N. Ce gradient caractéristique de la physico-chimie initiale des sols était déjà présent sur l'analyse des sols à T0 avant l'apport des effluents.

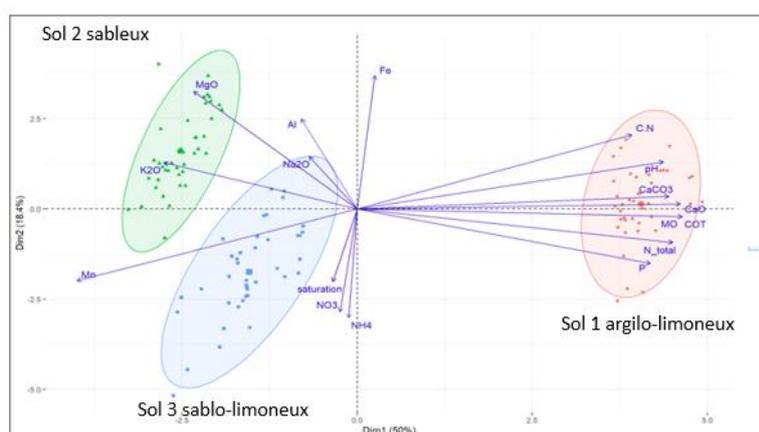
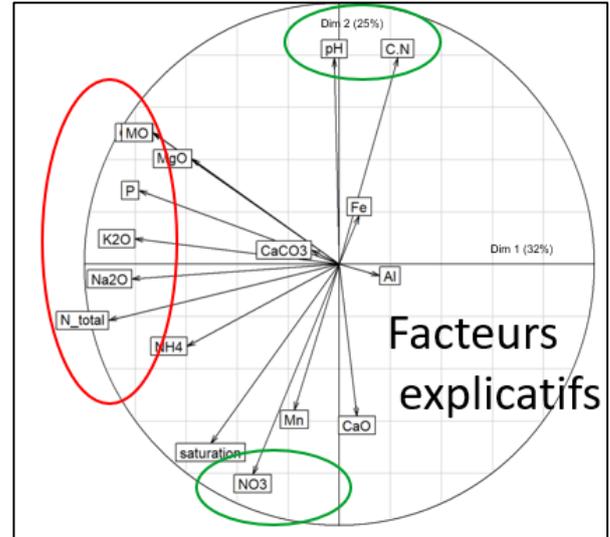
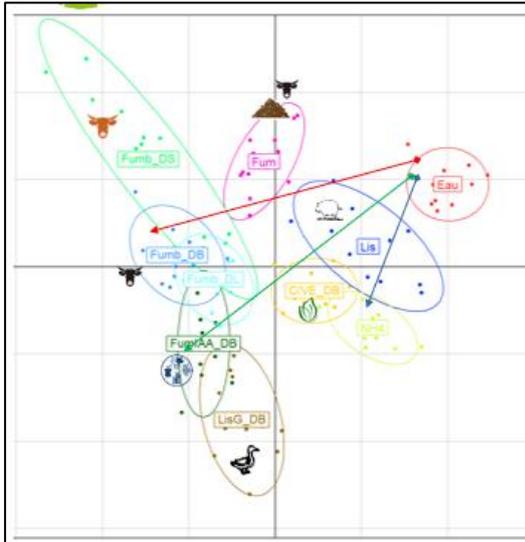


Figure 3 : Analyse en Composante Principale de la physico-chimie des sols 42 jours après incubation.

Afin d'étudier l'impact des digestats sur la physico-chimie des sols et d'enlever l'effet des caractéristiques initiales des sols, un ACP intragroupe a été réalisée. (Figures 4 et 5). Cette ACP intragroupe représente 57% de l'inertie totale.



Figures 4 et 5 : Analyse en Composante Principale intragroupe de la physico-chimie des sols 42 jours après incubation (représentation des individus (figure 4) et des variables (figure 5) sur le plan F1/F2)

En comparaison avec le témoin eau (modalité Eau), des modifications importantes ont été mesurées après 42 jours :

- Un enrichissement en carbone et azote total (axe1) avec les fumiers digérés (Fumb_*), les digestats mixtes (FumIAA_DB) et avec les lisiers et graisses (LisG_DB)
- Une acidification et diminution du C/N (axe2) avec les digestats mixtes (FumIAA_DB) et les lisiers et graisses (LisG_DB) et une sous fertilisation minérale (NH₄) prononcée en sols limoneux
- Un enrichissement en nitrate (axe2) avec les digestats mixtes (FumIAA_DB) et les lisiers et graisses (LisG_DB)

Indicateurs lombriciens (mésocosmes)

Aucune mortalité n'a été détectée mais des pertes de poids se sont révélées dans toutes les modalités ceci sans doute liées au temps d'adaptation.

Au contact avec une sol imprégné de digestat, les « vers de terre anéciques » ne révèlent pas d'impact en comparaison avec d'autres effluents ou une fertilisation minérale. Le dispositif ne permettait pas de tester l'impact de l'épandage au sol.

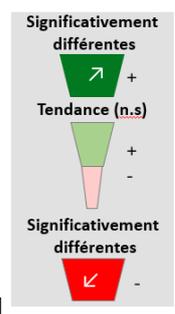
Indicateurs nématodes (mésocosmes)

On constate un effet du fractionnement des digestats sur l'activité biologique des sols, approché par l'abondance de nématodes libres dans le sol : en phase solide, les digestats de fumier bovin tendent à augmenter le niveau d'activité biologique des sols, comme le fait l'apport d'un fumier non digéré. Ces tendances sont variables selon les types de sols : le sol limono-argileux est plus réceptif à ces apports que les sols limoneux et sableux. Aucun digestat ni apport de lisier ou de fumier n'ont induit de réduction significative de la diversité fonctionnelle des sols. Toutefois, l'apport des digestats de fumier liquide et de lisier/déchet tendent à réduire cet indicateur, quel que soit le sol. Mise à part le digestat mixte, l'ensemble des apports tendent à réduire cet indicateur pour le sol limoneux. On constate également que le digestat de fumier bovin solide induit les mêmes résultats que le fumier non-digéré sur la diversité fonctionnelle.

Tableau 6 : Activité biologique et diversité fonctionnelle (comparaison à la modalité Eau)

Indicateur nématodes (activité):				Comparaison avec eau					
Activité Nématofaune	Min	Lisier	Fumier	DIGESTATS					
				Fumier			MIXTE	Lisier /déchet	CIVE
				Brut	Solide	Liquide			
SOL ↓									
Limono-argileux	=	=	↗	=	↗	=	=	=	=
Limoneux	=	=	=	=	↗	=	=	=	=
Sableux	=	=	↗	=	=	=	=	=	=

Indicateur nématodes (diversité fonctionnelle) :										
Limono-argileux										
Limoneux										
Sableux										



Indicateur : dégradation de la matière organique (litterbag) (mésocosmes)

On constate une influence majeure du type de sol, avec une dégradation des pailles plus fortes en sols sableux (Figure 6). Les sols sableux offriraient un milieu plus favorable à la dégradation des matières organiques fraîches.

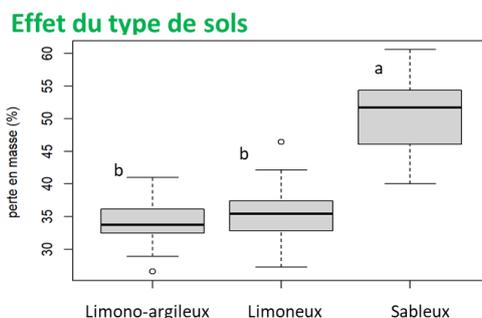
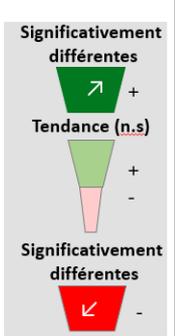


Figure 6 : Impact du type de sol sur la dégradation (en %) de la matière organique fraîche dans les litterbags

La dégradation est légèrement plus rapide en présence d’apports à C/N élevé (significativement différentes de la modalité « Eau » pour le fumier de bovin « Fum » et les digestats phase solide et liquide du fumier « Fumb_DS » et « Fumb_DL ») (Tableau 7). L’hypothèse s’orienterait vers des activités de dégradation plus importantes en fonction du carbone disponible pour les micro-organismes.

Tableau 7 : Impact du type d’apport sur la dégradation (en %) de la matière organique fraîche dans les litterbags (comparaison à la modalité eau)

Indicateur dégradation de la MOF (LITTERBAG) :				Comparaison avec eau					
Dégradation des MOF	Min	Lisier	Fumier	DIGESTATS					
				Fumier			MIXTE	Lisier /déchet	CIVE
				Brut	Solide	Liquide			
SOL ↓									
Limono-argileux	=	=	↗	=	↗	↗	=	=	=
Limoneux	=	=	↗	=	↗	↗	=	=	=
Sableux	=	=	↗	=	↗	↗	=	=	=



Indicateurs sanitaires (microcosmes)

Il n’y a pas de détection d’*E.coli* ni de *S.enterica*. Nous constatons une détection du complexe KP dans les sols de toutes les modalités et une seule détection de *L.monocytogenes* en digestat CIVE sur sol limono-arlileux. Les sols sableux sont plus faiblement concernés par ces bactéries pathogènes (Tableau 8).

Tableau 8 : Influence sur les indicateurs sanitaires

			<i>E. coli</i>	<i>S. enterica</i>	<i>L. monocytogenes</i>	KP sensu lato	
Témoins	Minéral	Limon	0	0	0	0,75	
		sableux	0	0	0	0,25	
		Limon-Arg	0	0	0	0,5	
Lisier de porc		Limon	0	0	0	0,75	
		sableux	0	0	0	0,25	
		Limon-Arg	0	0	0	0,75	
Fumier de bovin		Limon	0	0	0	0,5	
		sableux	0	0	0	0,25	
		Limon-Arg	0	0	0	0,5	
DIGESTATS		Brut	Limon	0	0	0	0,25
			sableux	0	0	0	0
			Limon-Arg	0	0	0	0
		Solide	Limon	0	0	0	0,5
			sableux	0	0	0	0,25
			Limon-Arg	0	0	0	0
		Liquide	Limon	0	0	0	0,75
			sableux	0	0	0	0,25
			Limon-Arg	0	0	0	0
		MIXTE	Limon	0	0	0	0,5
			sableux	0	0	0	0,25
			Limon-Arg	0	0	0	0,75
		Lisier/déchet	Limon	0	0	0	0,5
			sableux	0	0	0	0,25
			Limon-Arg	0	0	0	0,5
		CIVE	Limon	0	0	0	0,75
			sableux	0	0	0	0,25
			Limon-Arg	0	0	0,25	0,25

Fréquence de détection des indicateurs pathogéniques

Indicateurs microbiologiques (microcosmes)

Les résultats obtenus quant à la biomasse microbienne du sol ne montrent aucun effet significatif des modalités de traitement pour le sol limono-argileux. En revanche, un effet « dépréciatif » de certains types d’apport en comparaison avec un fumier bovin a été observé pour les sols légers (limoneux et sableux). Cet effet est davantage marqué avec des digestats CIVE et lisier non ruminant/déchet présentant des C/N faibles (Tableau 9).

Tableau 9 : Impact des différents amendements organiques et inorganiques sur la biomasse microbienne des sols

Biomasse microbienne	Min	Lisier	Fumier	DIGESTATS						
				Fumier			MIXTE	Lisier /déchet	CIVE	
				Brut	Solide	Liquide				
SOL ↓										
Limono-argileux	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Limoneux			↗							
Sableux			↗							

Significativement différentes

↗ +

Tendance (n.s)

↘ +

-

Significativement différentes

↙ -

Premières conclusions du volet 1

Les résultats montrent que les digestats, divers en composition chimique (C, N, ...), offrent des ressources qui peuvent impacter différemment les organismes du sol. Comparé à un fumier de bovin, certains digestats modifient les communautés biologiques du sol et leurs activités (dégradation des MO fraîches). Les valeurs C/N de ces apports et les teneurs ammoniacales (digestats ou lisiers) semblent influencer la biologie des sols. L’impact des digestats est différent suivant la nature du sol (Importance du fond géochimique (pH) et de la texture du sol). Il apparaît nécessaire de s’intéresser à la typologie des digestats et à leur composition chimique pour raisonner les apports en fonction du type de sol ;

Ces expérimentations en laboratoire sur sol nu avec un seul apport doivent être complétées par des expérimentations au terrain plus proches des conditions agro-pédo-climatiques et plus compatibles avec un suivi de l’impact des digestats de méthanisation à moyen et long terme.

Volet 2 : sur l'impact à moyen terme (via des sites expérimentaux épandant des digestats depuis plus de 3 ans)

Afin d'étudier les effets à moyen terme, le présent projet s'est appuyé sur des sites expérimentaux de longue durée, épandant de façon récurrente depuis plusieurs années, des Produits Résiduaire Organiques dont des digestats de méthanisation. Les trois sites retenus dans le projet Metha-BioSol sont situés sur des territoires différents (Bretagne (EFELE) et Alsace (PROspective et Dige'O)). Ils présentent des contextes pédoclimatiques différents. D'autre part, chaque site épand un type de digestat particulier, représentatif de son territoire. Les fréquences et les historiques d'apports de digestats varient également selon le site expérimental considéré. (Tableau 10).

Tableau 10 : Types et fréquences et modalités d'apports sur les sites expérimentaux

	Type de digestats apportés	Les fréquences et les historiques d'apports
PROspective	60% déchets IAA, 20% végétaux, 20% effluents d'élevage	Tous les ans sur 4 parcelles sur site depuis 2014 Pour les autres parcelles, tous les deux ans en compléments d'autres PRO apportés en année n et ce, depuis 2016
Dige'O	Digestat Obernai : 23% végétaux, 40% effluents d'élevage, 37% déchets IAA Digestat Obernai corrigé : 23% végétaux, 40% effluents d'élevage, 37% déchets IAA + Glenor kr+ Digestat Méthachrist : 38% végétaux, 43% effluents d'élevage, 19% déchets IAA	De 2013 à 2018 tous les ans Pas d'épandage entre 2016 et 2018 Puis, depuis 2018 épandage de digestats tous les ans
EFELE	Digestat Liger : 80% déchets IAA, 13% effluents d'élevage, 7% graisses Digestat Lisier de Porc : 100% effluents d'élevage Digestat Trubert : X% effluents d'élevage, Y% CIVE, Z% végétaux	Tous les ans au printemps depuis 2012

Sur les trois sites expérimentaux, des prélèvements de sol ont été réalisés sur différentes parcelles présentant différentes modalités d'apport (Digestat, PRO, fertilisation minérale...). Ceci permet d'avoir une approche factorielle des impacts (fertilisation minérale vs digestats, digestats vs PRO (ex : lisier, fumier...)). Les prélèvements de sols nécessaires à la genèse des résultats des indicateurs de la qualité biologique des sols ont été réalisés en sortie d'hiver juste avant les épandages. Actuellement les échantillons de sols sont en cours d'analyse.

Les résultats obtenus montrent que pour l'ensemble des sites, en comparaison avec une fertilisation minérale, des apports répétés de digestats, tout comme des apports de fumier ou de lisier, induisent une modification de la physico-chimie des sols. (Tableau11)

Tableau 12 : Résultats des modèles linéaires mixtes sur quelques paramètres physico-chimiques de sols des sites expérimentaux

	EFELE (P<0,05)				PROspective (P<0,05)			DIGE'O (P<0,05)			
	pH	N Total (g/Kg)	Corg Total (g/Kg)	C actif (g/Kg)	MO (g/Kg)	N Total (g/Kg)	C actif (g/Kg)	N Total (g/kg)	C actif (g/Kg)		
FUM	6.54a	1.34a	12.8a	6.79a	FUM_DIG	26.6a	1.44a	6.77a	FUM	1.78a	7.77a
LP	6.27a	1.16b	10.5b	4.94b	FUM_MIN	24.7ab	1.38ab	5.21a	DIG1	1.64ab	7.10ab
DIG_LP	6.24a	1.11b	10.1b	4.76b	DIG	23.9b	1.26b	4.71b	DIG2	1.58ab	7.09ab
MIN	5.91b	1.13b	10.3b	4.49b	MIN	22.2b	1.25b	4.08b	MIN	1.52b	6.18b

Ainsi une diminution du pH est observée en sol acide mais moins prononcé qu'avec une fertilisation exclusivement minérale. De même, des apports répétés de digestats (seuls ou associés avec du fumier) entraînent une augmentation de la teneur en azote total et en carbone actif des sols. L'analyse factorielle multiple (Figure 7) montre, que les effets des digestats sur la biologie des sols ne sont visibles qu'après

plus de 8 ans d'apports répétés. Concernant la qualité biologique des sols, les digestats auraient ainsi un impact intermédiaire à celui d'une fertilisation minérale et organique de type fumier. Nos résultats suggèrent également que ces effets seraient plus prononcés sur un sol limono-sableux acide. Ces résultats soulignent l'importance de considérer les spécificités du sol lors de l'élaboration de stratégies de gestion des digestats, et ouvrent la voie à des approches plus nuancées et adaptées en fonction des caractéristiques pédologiques.

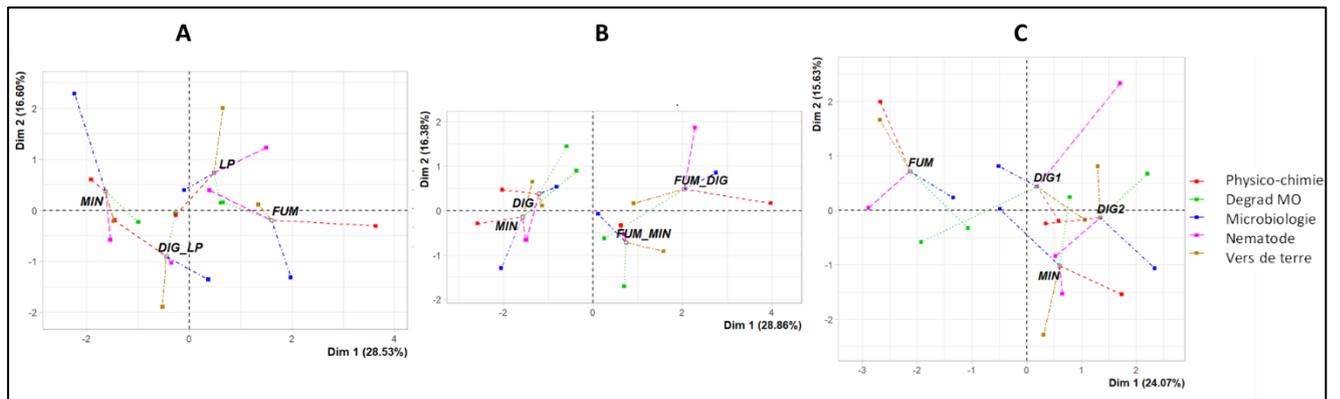


Figure 7 : Plans factoriels des AFM des bio-indicateurs pour les trois sites expérimentaux (A : EFELE, B : PROspective, C : DIGE'O)

Volet 3 : l'impact des pratiques agricoles

Dans cette partie du projet, il s'agit de déployer le tableau de bord d'indicateurs présenté dans le présent document dans un réseau de fermes agricoles épandant des digestats de méthanisation. Ce réseau s'étend sur 4 régions : Bretagne, Pays de la Loire, Bourgogne Franche-Comté et Provence Alpes Côte d'Azur. Ces régions, constituées chacune d'un groupe de 20 parcelles agriculteurs, sont représentatives de situations géographiques et de contextes pédoclimatiques variés à l'échelle nationale et ceci conformément à la typologie réalisée. Les prélèvements ont été réalisés en deux temps : sortie hiver 2022 pour les 40 premières parcelles et sortie hiver 2023 pour 39 autres parcelles. A l'issue des résultats des ateliers de co-constructions seront mis en œuvre avec les agriculteurs pour identifier les leviers de pratiques agricoles conciliantes et améliorant potentiellement les indicateurs impactés. La méthodologie de ce troisième volet est présentée en poster.

Valorisation

Le projet se termine fin 2024. Un colloque se déroulera à Dijon (Institut Agro Dijon) le mardi 25 juin. Il présentera les résultats obtenus.

Metha-BioSol est en ligne sur le site <https://metha-biosol.hub.inrae.fr/>

COMITE DE PILOTAGE : Institut Agro Dijon, ACE Méthanisation, AILE, CA21, CRA Bretagne, CRA Pays de la Loire, ENS, ESA d'Angers, ELISOL ENVIRONNEMENT, EPLEFPA du Bas-Rhin, GERES, INRAE (UMR Agroécologie, UR OPAALE, UMR SAS, UE SAEV), UMR ECOBIO, Université Jean-Moulin

FINANCEURS : ministère de l'Agriculture, ADEME et GRDF.

REMERCIEMENTS :

L'ensemble des membres du comité de pilotage du projet Metha-BioSol et les personnes qui y contribuent sont remerciés :

- Sadet-Bourgeteau Sophie, Bailly Arthur, Tripied Julie (Institut Agro Dijon)
- Cannavacciuolo Mario (ESA d'Angers)
- Barre Pierre (ENS CNRS)
- Billet Philippe, Margerin Anna (Univ J Moulin Lyon 3)
- Chauvin Camille, Villenave Cécile (ELISOL Environnement)
- Cluzeau Daniel (Université Rennes I)
- Eglin Thomas, Muller Fabienne (ADEME)
- Haumont Adeline (AILE)
- Hermant Anne (CA Côte d'Or)
- Moreira Mariana (CRABE)
- Hubert Cécile, Boisard Céline, Piron Denis, Riou Virginie, Mulliez Pierre (CAPDL)
- Hoeffner Kevin (Université Rennes I)
- Jean-Baptiste Vincent (GRDF)
- Johnson Margaret, Stangret Véronique (Lycée agricole Obernai)
- Michaud Aurelia, Montenach Denis, Morvan Thierry, Manon Gilles (INRAE)
- Piveteau Pascal (INRAE Rennes, UR OPAALE)
- Ranjard Lionel, Maron Pierre-Alain, Dequiedt Samuel, Vautrin Florian, Mora-Salguero Daniela (INRAE Dijon, UMR Agroécologie)
- Reibel Aurelie, Scherer Aurélie (GERES)
- Vrignaud Grégory (ACE Méthanisation)

Nous remercierons également les équipes techniques des différents laboratoires partenaires pour le travail fourni.