

Effets de la fertilisation des digestats issus de la méthanisation sur la faune du sol



N° I – 27/2015

Élaboré pour le groupe de travail I (Production de substrat) dans le cadre du « Biogas Forum Bayern » par :



Johannes Burmeister, Roswitha Walter

Office bavarois de l'agriculture, institut pour l'agroécologie, l'agriculture et la protection des ressources



Dr. Maendy Fritz

Centre de promotion et de technologie au sein du centre de compétences pour les matières premières renouvelables en Allemagne

Table des matières

1 Introduction	3
1.1 Importance de la faune du sol.....	3
1.2 Propriétés des digestats issus de la méthanisation	3
1.3 Effet de la fertilisation organique sur la faune du sol	4
2 Les digestats sont-ils attractifs pour la faune du sol ?	5
3 Quel est l'effet à moyen et à long terme des digestats sur la colonisation du sol par la faune ?	6
4 La fertilisation à l'aide de digestats nuit-elle directement à court terme à la faune du sol ?	9
5 Les digestats ont-ils une influence sur la biodiversité et la composition de la faune du sol ?	10
6 Conclusion et recommandations.....	12
Bibliographie	15

1 Introduction

La production de biogaz comme source d'énergie renouvelable constitue un élément fondamental de la politique énergétique allemande et est solidement ancrée dans le secteur agricole. Ses effets sur l'environnement ainsi que l'impact des résidus issus de la production (les digestats) sur la faune du sol soulèvent néanmoins de nombreuses interrogations. D'une manière générale, il convient de comprendre que l'épandage de tout type d'engrais affecte non seulement les plantes cultivées, mais aussi d'autres parties de l'environnement telles que l'eau, l'air, mais aussi la pédofaune. Il est donc essentiel d'éviter toute répercussion négative. Les fonctions naturelles du sol, outre son rôle d'habitat pour les organismes qui y vivent, doivent être garanties de façon durable, conformément à la législation relative à la protection des sols. Actuellement, les digestats sont les engrais organiques les plus utilisés en Bavière, après le lisier de bovin (pour la Bavière en 2012^[1] : 19,4 kg nets d'azote (N) par ha en provenance des installations de biogaz, 59,3 kg nets d'azote par ha en provenance de l'élevage bovin, estimation pour l'Allemagne^[2] : environ 65,5 millions de m³ avec 390 153 tonnes d'azote par an). D'importantes quantités de substances fertilisantes issues de la production locale, mais aussi de l'alimentation animale, des résidus organiques et des déchets biologiques, sont réparties sur les surfaces agricoles. L'évaluation de la valeur biologique des digestats pour la faune du sol, dont les diverses activités contribuent à améliorer la fertilité des sols, revêt donc un intérêt tout particulier.

Les questions les plus fréquentes relatives aux effets de la fertilisation à l'aide de digestats sur la faune du sol sont abordées ci-après, sur la base des connaissances actuelles :

- Les digestats sont-ils attractifs pour la faune du sol ?
- Quel est l'effet à moyen et à long terme de la fertilisation à l'aide de digestats sur la colonisation du sol par la faune ?
- La fertilisation à l'aide de digestats nuit-elle directement à court terme à la faune du sol ?
- Les digestats ont-ils une influence sur la biodiversité et la composition de la faune du sol ?

Les résultats d'une étude menée par le LfL¹, complétée par une analyse de la littérature (*en italique*), permettent d'apporter des réponses à ces questions. **Pour une lecture rapide, un court résumé figure à la fin de chaque paragraphe.**

1.1 Importance de la faune du sol

La faune du sol apporte une aide précieuse à l'agriculture et fournit différents services écosystémiques élémentaires^[3-5]. L'activité de creusage des lombrics contribue notamment à améliorer la structure des sols. Ces derniers améliorent leur capacité d'infiltration et mélangent les substances organiques avec le sol minéral. La digestion des éléments nutritifs constitue un autre rôle essentiel de la faune du sol. En fractionnant les particules organiques, elle favorise la croissance microbienne. Dans l'ensemble, la faune du sol agit à la manière d'un catalyseur pour le processus de décomposition. Elle joue également un rôle dans la constitution des complexes argile-humus et dans la stabilisation de la substance organique. Les organismes vivants du sol constituent ainsi un excellent indicateur de sa fertilité et de son activité biologique, leur importance est capitale pour l'agriculture durable. Il est par conséquent utile d'observer et de prendre en considération le développement et les besoins de la faune du sol.

¹ Office bavarois de l'agriculture, Institut pour l'agroécologie, l'agriculture et la protection des ressources

1.2 Propriétés des digestats issus de la méthanisation

La composition des digestats n'est pas fondamentalement différente du large éventail des divers effluents d'élevage d'origine animale. Les composants comme la teneur en matières sèches, la valeur de pH, la teneur totale en N et NH₄ varient de façon relativement importante en fonction du substrat et des conditions de fermentation utilisés. Voir à ce propos « Biogas Forum Bayern – [Biogasgärreste Einsatz von Gärresten aus der Biogasproduktion als Düngemittel](#)^{[6][2]} » (Digestats issus de la production de biogaz comme engrais). Il convient également de prendre en compte ces éléments dans le cadre de l'évaluation de résultats d'essai. La grande diversité des substrats utilisés (y compris ceux issus de déchets organiques), des différents procédés de fermentation, ainsi que des traitements ultérieurs (séparation) complique considérablement la formulation de toute généralisation et impose une parfaite connaissance des composants. Si l'on compare le digestat « moyen » avec le lisier de bovin, on remarque des teneurs de carbone organique et d'azote organique particulièrement faibles, ainsi que des valeurs de pH et une teneur en ammonium élevées^[2,7]. Les digestats ont donc davantage tendance à libérer de l'ammoniac. Or, à certaines doses, l'ammoniac peut se révéler toxique pour les organismes vivants.

La teneur en matières sèches diminue généralement au cours du processus de fermentation, il en résulte une structure plus homogène et une plus grande fluidité. Les substances fertilisantes peuvent ainsi pénétrer plus rapidement dans les sols, notamment lorsqu'elles se présentent sous forme de solution. La séparation des digestats permet d'obtenir d'une part une phase particulièrement liquide, avec des éléments nutritifs dissous pour l'essentiel, et de l'autre une phase solide avec une teneur en matières sèches élevée, mais également une importante teneur en substances fertilisantes. Concernant la composition de la substance organique présente dans les digestats, on peut supposer que la part de composés organiques facilement dissociables est plus faible en raison de la fermentation^[8]. L'alimentation exploitable pour les organismes vivants du sol, c'est-à-dire les micro-organismes et la faune, est par conséquent disponible moins rapidement. Cela rend l'effet des digestats sur la faune du sol particulièrement intéressant. La stabilité plus importante des digestats a amené à penser que cela se refléterait également dans leur effet sur l'humus^[9]. Toutefois, les éléments qui ne peuvent être décomposés ne sont pas disponibles sous forme de nourriture pour la faune du sol. Le substrat résultant de la production du biogaz contient généralement moins de matière organique qu'un substrat d'origine bovine. Les étapes suivantes de la décomposition des engrais organiques, les effets sur la faune du sol et les processus qui conduisent à la constitution et à la dégradation de l'humus font toujours l'objet de nombreuses questions.

1.3 Effets de la fertilisation organique sur la faune du sol

Bon nombre d'études sont consacrées à l'effet de la fertilisation organique sur la faune du sol. Certaines incluent également des recherches à très long terme et différents groupes d'animaux^[10-15]. Les lombrics constituent un axe prioritaire, compte tenu de leur importance pour la fertilité des sols. De manière générale, la fertilisation organique favorise la faune du sol en stimulant le cycle des substances. Ce résultat est obtenu grâce à l'apport alimentaire plus important des engrais organiques et à l'augmentation de la croissance des plantes. Les composés carbonés, les sources d'énergie et les éléments nutritifs (comme l'azote) sont essentiels pour la faune du sol. La densité de la faune du sol dans les surfaces agricoles est principalement déterminée par les conditions locales et climatiques, mais aussi par le mode d'exploitation. L'apport alimentaire (quantité et qualité) joue en cela un rôle particulièrement important. Les effets de la fertilisation organique sur le bilan hydrologique dus à la teneur en humus plus importante, la fluidité elle-même ou un certain effet « paillis » lié à la fertilisation

organique peuvent aussi avoir une influence positive. Dans certaines circonstances, d'importantes quantités d'engrais peuvent également entraîner une diminution de la faune du sol (par exemple en raison de la corrosion). Puisque les espèces et les communautés biologiques se développent dans des niches naturelles extrêmement variées, il est difficile de s'en tenir à des généralités et des réactions spécifiques doivent être prévues.

2 Les digestats sont-ils attractifs pour la faune du sol ?

Afin d'évaluer la valeur biologique des digestats pour la faune du sol, il convient d'établir si cette matière résiduelle issue de la production du biogaz peut servir de source de nourriture pour cette même faune.

Résultats d'essai

Les études menées par le LfL à Scheyern ont démontré l'utilité des digestats pour la faune du sol. Les collemboles et les acariens prédateurs ont indifféremment colonisé des mini conteneurs enfouis après avoir été remplis de digestats ou de lisier de bovin (voir description de l'essai, Figure 1). Dans les miniconteneurs dépourvus de matières organiques en revanche, la population de ces organismes était sensiblement moins importante. L'effet était le plus significatif en 2010, lors d'un séjour prolongé du conteneur dans le sol pendant l'hiver.

Dans le cas des recherches menées sur la colonisation des lombrics dans des microparcelles à Scheyern et les essais sur les digestats réalisés en Bavière, **les différences constatées entre les sols sans fertilisation organique et ceux fertilisés à l'aide de digestats indiquent que les digestats sont très attractifs pour les lombrics et sont exploités par ces derniers.**

Essai en microparcelle et en miniconteneur

- Microparcelle : Développement de la faune du sol dans des cadres en acier inoxydable d'une superficie de 1/4 m² traités avec eau, digestat et lisier de bovin
- Miniconteneur : Migration de collemboles et d'acariens dans des récipients fermés perméables (100 ml) auxquels sont ajoutés de l'eau, du digestat et du lisier de bovin après un temps de séjour de 3 à 6 mois dans le sol.



Période : 2008 – 2010 **Assolement** : Maïs-blé d'hiver-pomme de terre

Essai sur le terrain, 3 parcelles (microparcelle) ou 12 parcelles (miniconteneur)

Variantes : témoin (eau) ; digestat ; lisier bovin

Digestats :	Quantité/an*ha	36 m ³
	matière sèche	6,3 %
	N _{Ges}	4,1 kg/m ³
	NH ₄	2,2 kg/m ³



Groupes d'animaux : collemboles, acariens, lombrics

Analyse de la littérature

Les analyses de laboratoires relatives à l'augmentation du poids des lombrics en cas de fertilisation à l'aide de digestats prouvent que les espèces de lombric anéciques *Lumbricus terrestris* et *Aporrectodea longa* se nourrissent du digestat et présentent un gain de poids significatif par rapport au témoin sans fertilisation^[8,16]. Concernant les lisiers d'origine animale en comparaison, la prise de poids observée pour ces espèces n'était pas moins importante. Pour l'espèce de lombric endogée *Aporrectodea caliginosa*, qui dépend fortement du carbone facilement accessible dans le sol, la situation alimentaire s'est cependant révélée moins favorable qu'avec le lisier de bovin^[8].

Le digestat et le lisier bovin fraîchement épandus ne constituent pas un substrat adapté pour les lombrics. Lors d'essais d'évitement au cours desquels des sols contenant différents engrais ont été proposés aux lombrics, il est apparu que l'espèce *Aporrectodea caliginosa* préférerait les sols témoin sans fertilisant à ceux présentant d'importantes quantités d'engrais^[17]. Pour *Lumbricus terrestris*, un essai comparant le lisier de bovin et le digestat aux doses d'application les plus élevées (170 kg N/ha) a mis en évidence un évitement du digestat. C'est-à-dire que les lombrics tendaient à se maintenir dans les sols contenant le lisier bovin^[18]. Cet effet n'est plus observé dans les sols une semaine après application de l'engrais. Les *enchytraeidae*, une espèce apparentée au lombric, se comportent de manière analogue^[17].

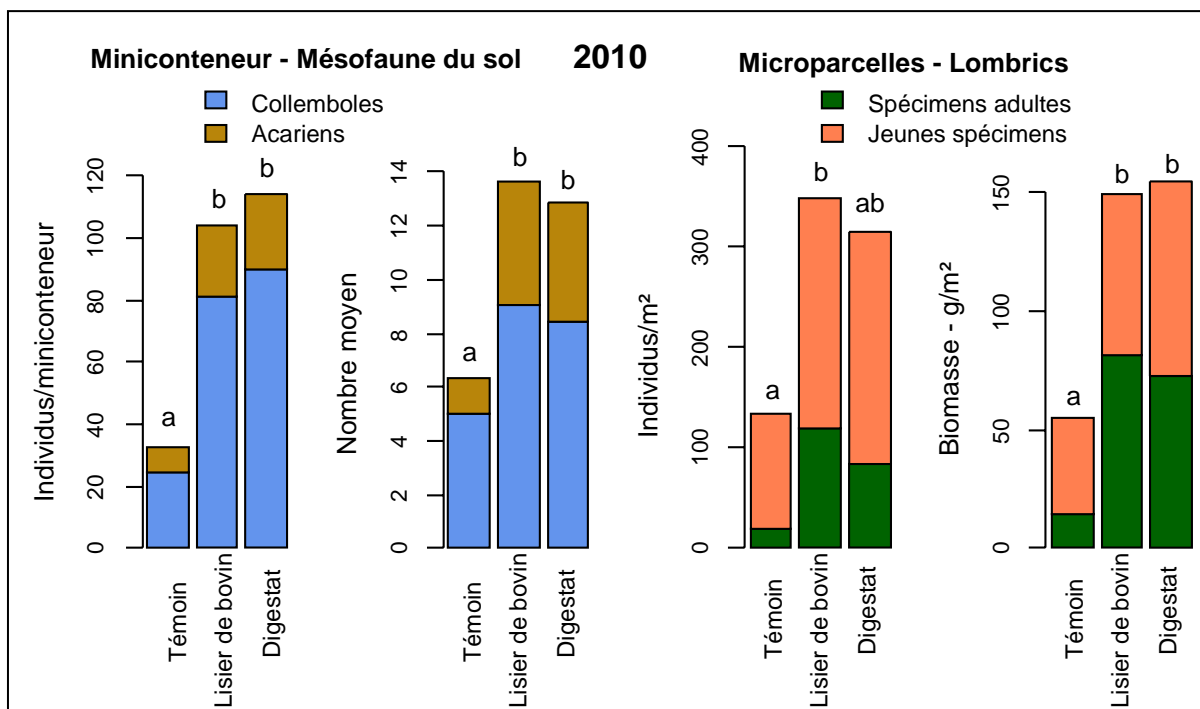
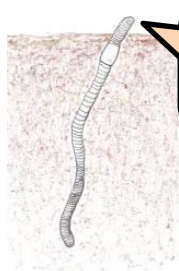


Figure 1 : Résultats de l'essai réalisé à Scheyern en 2010 (les lettres indiquent les différences significatives, test de l'écart de Tukey par paires avec $\alpha = 0,05$).

Il apparaît que les digestats sont aussi attractifs que les autres engrais organiques pour la faune du sol. Ils représentent une matière de départ exploitable pour la chaîne alimentaire du sol. De manière générale, on peut considérer que le lisier et les digestats frais sont tout d'abord moins attractifs pour la faune du sol. Ils sont ensuite utilisés en priorité à mesure que le temps passe. Il est possible que les différences de valorisation par rapport au lisier de bovin soient liées à la faible teneur en carbone facilement accessible. Comparée à celle du lisier d'origine animale, l'attractivité inférieure des digestats à court terme peut s'expliquer par une composition différente, notamment concernant la teneur en ammonium.



Les digestats servent de nourriture à la faune du sol, mais ne sont pas attractifs immédiatement après l'épandage.

3 Quel est l'effet à moyen et à long terme de la fertilisation à l'aide de digestats sur la colonisation du sol par la faune ?

Le développement à long terme des populations de la faune du sol est particulièrement important pour préserver la fertilité des sols et assurer une gestion durable. La densité de colonisation de la faune du sol joue notamment un rôle capital dans les fonctions relatives au cycle des éléments nutritifs et à la formation de la structure (voir précédemment). Par nature, la densité de la faune dans les sols varie d'une année à l'autre et selon les saisons, la disponibilité des matières décomposables constitue toutefois un facteur de régulation pour l'équilibre dynamique qui s'établit progressivement au sein de l'assolement. L'effet positif de la fertilisation organique sur la population de la pédofaune est connu (voir chap. 1.3).

Les propriétés modifiées, en particulier la teneur en matières faciles à digérer et riches en énergie, ainsi que la réduction de la quantité globale de carbone organique dans le digestat peuvent néanmoins avoir un effet à long terme sur la faune du sol.

Résultats d'essai

La recherche relative à l'impact des digestats sur la faune du sol se concentre sur le développement de la faune des lombrics. À ce jour, les études scientifiques à long terme menées sur une durée de plus de 5 ans sont encore trop peu nombreuses.

Les études conduites sur la faune des lombrics dans le cadre des essais sur les digestats réalisés en Bavière (voir description de l'essai) ont clairement montré l'influence positive de la fertilisation organique après une période de 5 ans (Figure 2). Concernant la densité de colonisation des lombrics, les variantes avec fertilisation organique se distinguent sensiblement des surfaces fertilisées exclusivement à l'engrais minéral. Les études réalisées deux ans auparavant parvenaient déjà à ce même constat. Concernant l'effet de la fertilisation à l'aide de digestats, une densité de colonisation sensiblement plus faible a été constatée en moyenne sur les quatre sites étudiés dans les variantes où un digestat équivalent au niveau d'ensilage de maïs était épandu, par rapport à une variante fertilisée à l'aide d'une quantité correspondante de lisier de bovin. La variante fertilisée uniquement avec le digestat (retour des nutriments prélevés par le maïs et le blé d'hiver + 20 %) ne présente aucune différence significative comparée à la variante avec application de lisier bovin. La biomasse des lombrics évolue quant à elle de façon similaire, bien que le développement ne soit pas uniforme sur l'ensemble des sites. Ainsi, aucun effet n'a été clairement constaté en 2014. En 2012, il a pu être démontré que la biomasse des lombrics était sensiblement plus élevée dans les variantes 4, 5 et 6 par rapport à la variante 1, uniquement fertilisée à l'aide d'engrais minéral. L'influence de la paille sur la faune des lombrics s'est révélée relativement faible. Aucun effet lié à la fertilisation n'a pu être confirmé pour le moment au cours de cet essai concernant la densité de colonisation de la mésofaune du sol (collembolles et acariens).

Des prélèvements de lombrics réalisés en conditions réelles en Bavière, par exemple dans le cadre du programme d'observation de la durabilité des sols, ont également montré que dans les champs de Bavière également fertilisés par les exploitants depuis plus de 5 ans à l'aide de digestat, la population de lombrics dans le sol atteignait une densité de colonisation moyenne de 120 individus/m². Outre la fertilisation organique, de nombreux facteurs, tels que l'organisation de l'assolement (culture de récoltes favorisant la croissance de l'humus), l'intensité de la préparation du sol, la pression sur le sol, ainsi que les conditions du site, influent considérablement sur ces résultats.

Un essai à moyen terme consistant en l'application triennale de digestats et de lisier de bovin dans des microparcelles (voir description de l'essai) a également démontré l'effet positif de la fertilisation organique. Aucune différence sur le plan statistique n'a toutefois été constatée entre le lisier de bovin et les digestats pour les lombrics, les collembolles et les acariens.

Essai sur les digestats réalisé en Bavière – Essai relatif à la durabilité à long terme des voies d'exploitation du biogaz et du BtL (biomasse vers liquide)

Pratique de fertilisation orientée sur le rendement (minérale, digestats, lisier de bovin)

Période : 2009-2019 **Assolement** : Maïs-blé d'hiver

Essai de terrain sur 4 sites, 4 parcelles

Variantes :

Var. 1 : minér. – paille (BtL)

Var. 2 : minér. + paille

Var. 3 : digestat – paille

Var. 4 : digestat + paille

Var. 5 : max. digestat – paille

Var. 6 : lisier bovin + paille

Digestats :	Quantité/an*ha	Ø 33 m ³ (Ø 69 m ³ Var.5)
	TS	Ø 5,4 % (Max. 7,7 %, Min 1,5 %)
	pH	Ø 7,9 (Max. 8,4, Min 7,5)
	N _{Ges}	Ø 3,9 (Max.5,3, Min.3,0) kg/m ³
	NH ₄	Ø 2,5 (Max. 3,9, Min. 1,7) kg/m ³

Groupes d'animaux : lombrics, collembolles, acariens (carabes)



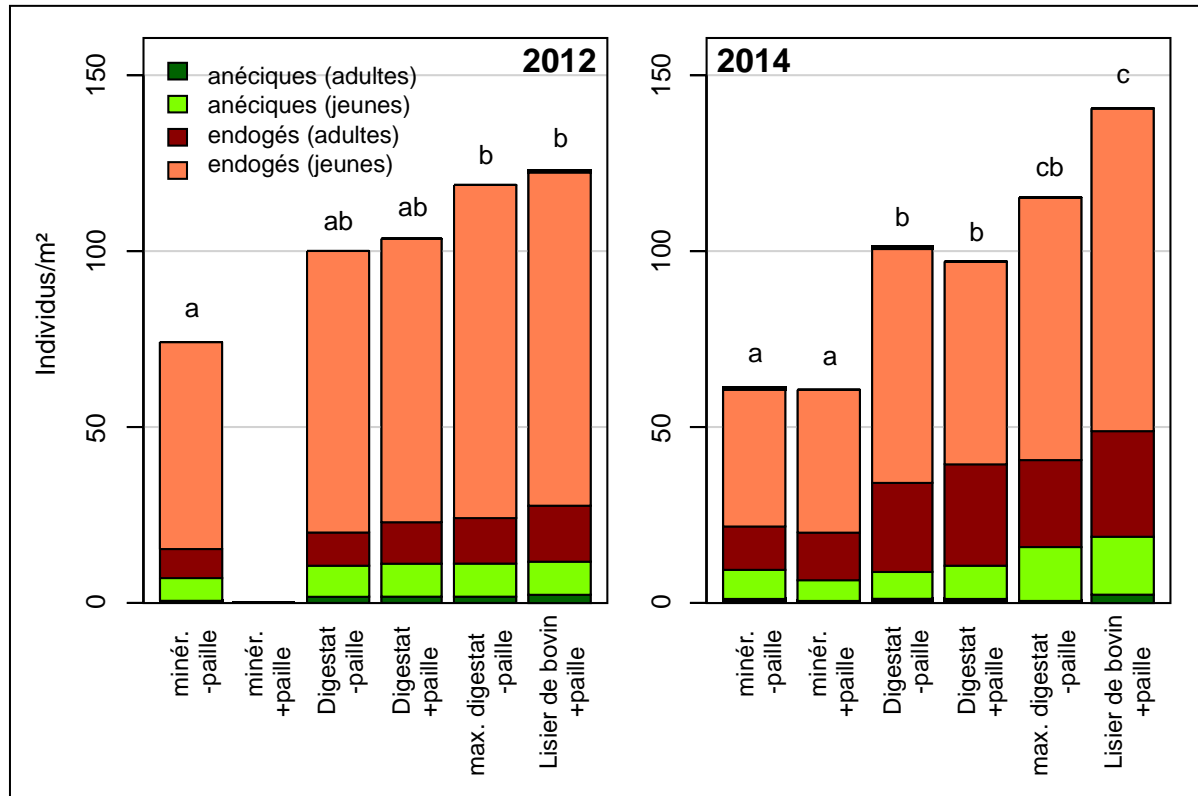


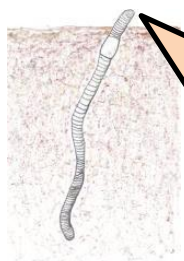
Figure 2 : Densité de colonisation des lombrics lors des essais sur les digestats réalisés en Bavière au terme de périodes de trois et cinq ans, en 2012 et 2014 (la variante minérale + paille n'a pas été soumise à essai en 2012, les lettres indiquent les différences significatives, test de l'écart de Tukey avec $\alpha = 0,05$)

Analyse de la littérature

L'effet positif des digestats sur la population de lombrics a été démontré au terme de quatre années dans le cadre d'un essai à long terme mené sur différents assolements avec pour objectif la production de bioénergie issue de l'agriculture biologique^[19]. Néanmoins, les différents types d'assolement ont également joué un rôle déterminant. D'autres essais sur le terrain (durée d'essai maximale de 2 ans), portant sur une faune de lombrics soumise à une fertilisation à base de digestats puis comparée à des variantes témoins avec lisier et sans engrais, ont montré dans une certaine mesure l'effet positif de la fertilisation organique^[17,20]. Toutefois, une évolution négative de la faune de lombrics a également été observée en augmentant la quantité de digestat épandu^[21], voire une absence de résultats évidents^[18,20,22]. Des différences significatives n'ont cependant été que rarement constatées. En Autriche, des surfaces en conditions réelles fertilisées de façon prolongée avec des digestats ont obtenu des densités de lombrics et de nématodes supérieures à celles des surfaces de comparaison^[23]. On ne dispose pas actuellement d'informations suffisantes concernant les autres groupes d'animaux.

Les données recueillies jusqu'ici suggèrent qu'à long terme, les surfaces fertilisées à l'aide de digestats présentent une population de lombrics plus importante que celles fertilisées à l'aide d'engrais non organiques ou exclusivement minéraux. L'effet des digestats est cependant inférieur à celui des lisiers de bovin. Cela s'explique principalement par une plus faible proportion de matières organiques, qui représentent un élément essentiel de l'alimentation de la faune du sol. La modification de la composition et les propriétés de la matière organique peuvent également être citées comme des explications possibles. Il est vraisemblablement possible de compenser en grande partie cette insuffisance par un approvisionnement alimentaire amélioré grâce à un assolement ou des résidus de récolte favorisant la croissance de l'humus. La réalisation du bilan humique peut également servir d'indicateur pour l'approvisionnement de la faune du sol en matières organiques.

Le fait que l'épandage de digestats entraîne une augmentation de la population de lombrics indique clairement que ce type d'engrais n'est généralement pas une substance nocive pour ces derniers. Il convient toutefois de tenir compte des différentes corrélations avec les questions suivantes. Au-delà de leur impact réel à long terme, des travaux de recherches concernant les digestats sont encore nécessaires, notamment leurs variantes traitées et séparées. Des études doivent également être menées sur d'autres groupes d'animaux afin de compléter celles réalisées sur les lombrics.



Les digestats favorisent la population de lombrics par rapport à la fertilisation minérale. Leur effet n'égale cependant pas celui du lisier de bovin. La quantité et éventuellement la qualité des matières organiques restituées en sont vraisemblablement la cause principale.

4 La fertilisation à l'aide de digestats nuit-elle directement à court terme à la faune du sol ?

Les mentions d'un effet irritant des digestats (mais aussi d'autres lisiers d'origine animale) sur les lombrics reviennent régulièrement sur le terrain. Les effets nocifs de l'ammonium et/ou de l'ammoniac sur les lombrics sont connus depuis 1836, le journal agricole et forestier pour l'Allemagne du Nord vante à l'époque « l'urine de bovin fermenté, dont la teneur en ammoniac est particulièrement forte » comme un bon moyen « d'exterminer » les lombrics. Des lombrics agonisants ont également été observés à la surface du sol lors de l'épandage de grandes quantités de lisier de porc^[24].



Le lien entre les composants et l'effet répulsif n'est pas encore clairement établi, la teneur en azote ammoniacal semble cependant avoir une importance significative. En outre, il est probable que d'autres animaux à corps mou et de plus petite taille vivant eux aussi dans les sols soient affectés au même titre que les lombrics, si ce n'est davantage. Les effets les plus marqués doivent se produire dans les prairies, où la densité de colonisation des lombrics est particulièrement élevée, où de nombreux animaux résident également à la surface des sols et où l'épandage peut avoir lieu dans des conditions plus humides avec une activité plus importante. Afin d'éviter de nuire à la faune des lombrics, on évoque fréquemment le traitement et la dilution du lisier ou du digestat, ainsi que les conditions climatiques et l'humidité du sol lors de l'épandage.

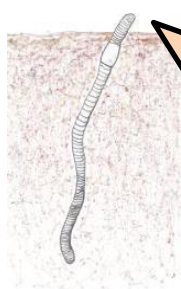
Résultats d'essai

Un essai par tâtonnement concernant l'effet répulsif qu'exercent les digestats sur la faune des lombrics en prairie à Puch a montré qu'avec un épandage réaliste de 30 m³/ha d'engrais à base de digestat, le nombre de lombrics remontant à la surface était bien inférieur à un individu/m² et correspondait à une part de population de 0,3 %. En outre, au cours des essais sur les digestats réalisés en Bavière, aucun effet répulsif évident n'a jusqu'ici été observé à la suite d'un épandage de digestats. Les prélèvements réalisés environ un mois après la fertilisation n'ont permis de constater aucun effet négatif à court terme sur la densité de colonisation des lombrics. Les recherches menées sur l'effet répulsif de lisiers de bovin traités de différentes manières en prairie ont révélé que pour 25 m³ de lisier par ha, le nombre de lombrics affectés ou morts restait encore faible. Il augmente cependant considérablement avec des quantités plus importantes (12,1 % et 23,4 % des individus respectivement pour 50 et 75 m³/ha de lisier de bovin non aéré)^[25].

Analyse de la littérature

Les prélèvements de faune de lombrics, réalisés directement après l'épandage de digestats, (1 et 6 semaines), ne montrent aucune diminution significative de la densité de lombrics dans le champ^[18]. Dans des colonnes de sol d'un diamètre de 17 cm, sur lesquelles des quantités réalistes de digestats ont été épandues avant de simuler des précipitations de 30 mm, aucun lombric n'a été observé à la surface^[16]. Même dans le cas d'études de plusieurs années^[17,21], un mois après la fertilisation, aucune diminution significative de la densité de colonisation n'a été constatée par rapport aux témoins non traités. Des essais d'évitement et de toxicité ont permis de déterminer qu'une application de 170 kg N/ha de digestats représentait plus ou moins la dose maximale tolérée par les lombrics avant que leur comportement et leur survie ne soient négativement affectés^[18].

Ces événements permettent d'observer une grande quantité de lombrics à la surface du sol, pour l'essentiel à l'occasion de cas particuliers lors desquels l'action conjointe de certains facteurs défavorables se manifeste. L'humidité du sol, les conditions climatiques et de température, ainsi éventuellement que la composition du digestat, sont autant de paramètres significatifs. La grandeur la plus importante, mais aussi la seule à pouvoir être contrôlée avec certitude par les exploitants, concerne la quantité de digestat utilisée. La répartition de l'apport d'engrais dans l'espace et le temps doit permettre, autant que possible, d'éviter les doses de produit fortement concentrées. Ce problème se présente notamment lors de l'épandage sur des sols saturés d'eau ou en cas de fortes précipitations après la fertilisation. Compte tenu du risque d'endommagement de la structure du sol, il convient d'appliquer le lisier et le digestat uniquement sur les sols capables de les absorber. Bien que l'épandage n'affecte généralement qu'une faible partie de la population globale de lombrics et que l'effet positif sur les ressources alimentaires prédomine à long terme, la présence de lombrics morts en surface indique que le sol et la faune qu'il abrite ont déjà été un peu trop sollicités. Afin d'éviter de porter préjudice à la faune du sol en utilisant des digestats dont la teneur en ammonium et les valeurs de pH sont particulièrement élevées, il est également possible d'envisager la dilution et le traitement du produit. Quant au moment optimal, les effets des digestats utilisés (séparation, traitement, acidification, etc.) et des différentes méthodes d'épandage font encore l'objet d'interrogations pour le moment.



Les effets nocifs directs liés à l'épandage des digestats, mais aussi des engrais organiques, interviennent le plus souvent à brève échéance, mais pas exclusivement. En général, seule une faible partie de la population globale de lombrics est affectée et l'effet positif des engrais organiques sur les ressources alimentaires prédomine à long terme. Selon l'état actuel des connaissances, il est préférable d'éviter tout épandage lorsque le sol est trop humide et de ne pas utiliser de quantités trop importantes en une seule fois.

5 La fertilisation à l'aide de digestats a-t-elle une influence sur la biodiversité et la composition de la faune du sol ?

Outre le nombre d'animaux présents dans le sol, leur diversité est également un facteur essentiel pour qu'ils puissent remplir leurs fonctions. Par exemple, la décomposition des résidus de récolte ou des engrais organiques est un processus de longue durée qui comporte de nombreuses étapes de dégradation auxquelles participe une grande variété d'organismes vivant dans le sol. Au cours de leur évolution commune, de multiples relations de dépendance et d'interdépendance se sont développées entre les micro-organismes,

la faune du sol et les plantes. La diversité des organismes garantit par conséquent leur pérennité à longue échéance. C'est la raison pour laquelle l'évaluation de la tolérance aux digestats sur le long terme doit prendre en considération la question de la biodiversité. Il en ressort en général que toutes les mesures agricoles ont un effet sur la composition de la communauté des espèces.

Tableau 1 : Formes de vie chez les lombrics (modifié selon DUNGER 2008)

Lombrics épigés (vivant en surface)	Lombrics endogés/vivant dans la couche minérale	Lombrics anéciques
<ul style="list-style-type: none"> • Vivent près de la surface dans la litière et la couche d'humus • Creusent des galeries temporaires ou pas de galeries. • Reconnaisables à leur coloration sombre sur tout le corps (protection UV). 	<ul style="list-style-type: none"> □ Vivent dans les sols minéraux jusqu'à env. 60 cm de profondeur et creusent en continu un vaste réseau de nouvelles galeries. □ Contribuent efficacement au brassage des matières organiques avec le sol minéral. 	<ul style="list-style-type: none"> □ Creusent des galeries stables, profondes et presque verticales, jusqu'au sous-sol. □ Collectent des matières organiques en surface, puis les ramènent dans leurs galeries.

Résultats d'essai

En 2014, dans le cadre d'études relatives aux essais sur les digestats en Bavière, aucune différence n'a été constatée dans la biodiversité des lombrics soumis aux différents engrais. Toutes les espèces habituellement trouvées sur le site étaient présentes, même dans la variante fertilisée avec une forte dose de digestat (max. Digestat - paille). Pour les doses d'application de cet ordre de grandeur, un des sites étudiés en 2014 a toutefois présenté un nombre moins important de lombrics adultes (*Lumbricus terrestris*). Les espèces qui vivent en surface et dans les couches minérales (*Aporrectodea rosea*, *Allolobophora chlorotica*, *Aporrectodea caliginosa*, *Octolasion lacteum*) n'ont pas été affectées (le Tableau 1 fournit une description des différentes formes de vie chez les lombrics). Les microparcelles de Scheyern (voir page 4) ont en revanche révélé un changement dans la composition des formes de vie chez les lombrics^[26]. Dans les variantes fertilisées à l'aide de digestats, on a notamment constaté une densité de colonisation et une biomasse inférieures de près de 30 % pour les spécimens adultes des espèces vivant dans les couches minérales. En outre, les individus appartenant à ces groupes écologiques collectés dans le sol des champs cultivés et fertilisés à l'aide de digestats étaient en moyenne plus petits et plus légers que la moyenne nationale^[27]. Aucune différence notable de la biodiversité des collemboles et des acariens prédateurs n'a pu être établie entre les miniconteneurs et microparcelles contenant du lisier de bovin et ceux contenant du digestat. Des variations de la densité de colonisation ont toutefois été observées pour certaines espèces^[28]. Les études conduites en 2011 sur la diversité des carabes dans le maïs en assolement, dans le cadre des essais sur les digestats en Bavière, n'ont montré aucune différence^[29]. Les recherches réalisées sur la faune des lombrics dans les champs cultivés dans le cadre de l'observation de la durabilité des sols n'ont révélé aucune diminution de la biodiversité.

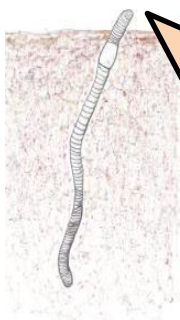
Lors d'essais portant sur l'effet répulsif de lisiers de bovin différemment traités, il a été constaté que les espèces de lombrics vivant à la surface étaient les plus affectées et que l'application régulière d'engrais en quantités excessives pouvait entraîner leur disparition^[25].

Analyse de la littérature

Un changement de la composition par espèce des lombrics dû aux propriétés modifiées des digestats (teneur réduite en hydrates de carbone facilement dégradables par rapport au lisier de bovin) et à la

*différence constatée de leur qualité pour le lombric endogé *Aporrectodea caliginosa* semble tout à fait probable^[8]. Une croissance de l'espèce *Aporrectodea caliginosa* a toutefois pu être observée dans des conditions d'essai sur le terrain (essai sur les digestats, 2012^[19]). Une modification de la composition par espèce des lombrics liée à l'épandage de digestat et une légère tendance à la réduction de la diversité des espèces ont également été rapportées^[20].*

La diversité de la faune des lombrics ne semble pas diminuer dans les champs fertilisés à l'aide de digestats, du moins pas à court terme. Des effets à long terme sur la composition par espèce sont néanmoins à prévoir. L'orientation du développement n'est cependant pas prévisible à l'heure actuelle en raison des différences entre les conditions locales et de nombreux autres facteurs liés à l'exploitation, tels que l'assolement, l'intensité de la préparation du sol et l'influence des conditions climatiques. Les informations relatives à la biodiversité sont encore largement insuffisantes pour de nombreux groupes d'animaux. Comme une grande partie des éléments composant le paysage agricole contribue de façon significative à la biodiversité, qu'ils soient utilisés ou non de manière extensive (lisières, fossés, haies, plans d'eau, etc.), un épandage de digestats respectueux de l'environnement devrait avoir pour objectif d'éviter toute perturbation liée à la perte de substances fertilisantes via l'air ou l'eau pour les surfaces environnantes. Par ailleurs, on constate généralement que plus les quantités d'engrais appliquées et l'intensification de l'exploitation sont importantes, plus le risque de perdre des espèces augmente.



À l'heure actuelle, il n'y a pas lieu de considérer que l'utilisation des digestats conformément aux bonnes pratiques agricoles puisse entraîner, à court et à moyen terme, une diminution notable de la biodiversité de la faune du sol. Des études à long terme sont néanmoins nécessaires pour confirmer ces affirmations. De nombreuses espèces appartenant à la faune du sol sont encore insuffisamment connues à ce jour. Il est essentiel d'éviter toute exposition de l'air et de l'eau aux substances fertilisantes, afin de préserver la biodiversité de l'écosystème dans son ensemble.

6 Conclusion et recommandations

En l'absence de fertilisation organique ou en cas de fertilisation à base d'engrais purement minéral, la fertilisation au moyen de digestats est globalement recommandée. Elle constitue alors en effet une amélioration des ressources alimentaires pour la faune du sol et favorise à long terme l'activité biologique des sols. Une quantité de matières organiques moins importante étant restituée aux champs avec la fertilisation à base de digestats par rapport au lisier d'origine animale, des mesures complémentaires visant à améliorer l'apport en humus doivent être mises en œuvre. Celles-ci incluent par exemple la mise en place de cultures favorisant la croissance de l'humus, comme les graminées fourragères et le trèfle, ainsi que de cultures intermédiaires ou la conservation des résidus de récolte sur le champ.

Même si l'utilisation d'importantes quantités d'engrais n'entraîne pas nécessairement une dégradation de la faune du sol, il est préférable de procéder à un épandage progressif dans le temps et l'espace afin de limiter un tel risque. La mise en culture de céréales d'hiver pour l'ensilage de plantes entières, avec une culture dérobée de ray-grass anglais, constitue par exemple un bon moyen d'y parvenir. Voir le document Biogas Forum Bayern - [Weidelgras-Untersaaten in Wintergetreide zur GPS-Nutzung als Biogassubstrat](#)^[30] (Utilisation de cultures dérobées de céréales d'hiver pour l'ensilage de plantes entières en tant que substrat de biogaz). En outre, cette pratique peut se révéler bénéfique à plus d'un titre pour

l'environnement. Elle permet par exemple de réduire le lessivage des éléments nutritifs, de participer au brassage du sol, et ainsi de renforcer sa structure, d'améliorer le bilan humique et de favoriser la faune du sol. La fertilisation des cultures intermédiaires ou la fertilisation du maïs en deux fois au printemps peut également contribuer à améliorer la situation. Tant que l'application du digestat reste conforme aux prescriptions spécifiques relative aux engrais en vigueur et aux bonnes pratiques agricoles, aucune dégradation sérieuse de la faune du sol n'est à craindre. Lorsque des substances fertilisantes issues de la même exploitation sont utilisées, un cycle des éléments nutritifs aussi fermé que possible peut être mis en place afin de permettre une application plus respectueuse de l'environnement. Il est par ailleurs utile de préciser la relation entre la faune du sol et la compression de ce dernier suite à un passage dans des conditions défavorables ou trop humides. Voir le document Biogas Forum Bayern - [Boden- fruchtbarkeit unter Druck](#)^[31] (Fertilité des sols sous pression). Le compactage des sols peut avoir un effet négatif sur la faune du sol, la compacité plus élevée du terrain réduit en effet l'apport en oxygène et modifie ainsi les conditions alimentaires. Par conséquent, le lisier et les digestats ne doivent être épandus que sur des sols capables de les absorber. D'une manière générale, il convient d'appliquer une gestion respectueuse des sols^[32].

Tableau 2 : Recommandations et mesures visant à favoriser la faune du sol

	Mesures	Exemples
Améliorer l'alimentation	Récoltes favorisant la croissance de l'humus	Mélange de cultures fourragères, luzerne
	Cultures intermédiaires	par exemple, trèfle, moutarde, phacélie, ray-grass, lupin, colza
	Dépôt des résidus de récolte	Paille, feuilles de betteraves
	Engrais organiques	Engrais verts, fumier, lisier, digestat
Réduire les perturbations	Limiter la préparation du sol	Diminuer la fréquence de labourage, culture sans labour, semis direct
	Diminuer la protection des cultures	Réduire les produits phytosanitaires au strict nécessaire, privilégier de l'agriculture biologique
	Appliquer une gestion respectueuse des sols, Éviter le compactage des sols	Ne pas traverser les sols humides, réduire la charge par roue, adapter la pression interne des pneus
	Cultures sur plusieurs années	Graminées fourragères, trèfle, cultures permanentes
	Paillage permanent du sol	Cultures dérobées
Favoriser la diversité	Assolement riche	Au moins trois cultures
	Diversification de l'espace	Exploitation riche et diversifiée de l'espace, accotements, haies
	Mesures agro-environnementales	Gestion extensive, agriculture écologique, enherbement hivernal, strip-till (labour en bande), jachères fleuries

La connaissance approfondie de la composition des digestats permet d'en évaluer les effets sur la faune du sol et de préparer une fertilisation adaptée. Un épandage de substances fertilisantes concentré dans le temps et dans l'espace implique une augmentation des risques d'effets secondaires indésirables. Les fortes teneurs en ammonium et les valeurs de pH élevées du digestat devraient d'autant plus inciter à tenir compte des conditions climatiques et des caractéristiques du sol, ainsi qu'à éviter toute perte d'azote sous forme gazeuse. De même, il est essentiel d'éviter toute pollution de l'air, de l'eau et des habitats voisins par les substances fertilisantes, afin de préserver la biodiversité du paysage agricole, ainsi que les services fonctionnels qu'elle fournit en matière de fertilisation des sols et de contrôle naturel des parasites^[33].

Des recherches plus approfondies sont encore nécessaires pour déterminer l'effet des digestats traités (par exemple, par séparation, acidification, inhibiteur de nitrification) sur la faune du sol. Il en va de même en ce qui concerne les méthodes d'application récentes comme les procédés d'enfouissement à dents et à disques.

Une exploitation agricole est un système complexe dans lequel interagissent les exploitants, le sol, les plantes et la faune. Le système de gestion dans son ensemble ne doit pas être occulté par l'évaluation des effets liés aux cultures énergétiques sur la faune du sol. Les exploitants disposent de nombreuses solutions permettant de favoriser la faune du sol ainsi que son action, par exemple la mise en place d'un assolement à cultures multiples, de cultures intermédiaires, de cultures permanentes et une préparation du sol sans labour (voir Tableau 2). De telles mesures sont notamment recommandées pour la production intensive du biogaz, à des fins de réduction préventive du risque. À cela s'ajoutent également de nombreuses synergies permettant d'assurer la préservation de la fertilité du sol et des services écosystémiques. Bien que les décisions liées à l'occupation du sol soient principalement motivées par des considérations économiques, il serait regrettable que les perspectives qu'offre la production de biogaz en termes d'amélioration des conditions de vie de la faune du sol, de la fertilité du sol et du cadre rural dans son ensemble restent inexploitées.

Bibliographie

- [1] WENDLAND, M. (2014) : Nährstoffemissionen aus der Tierhaltung in Bayern und die Novellierung der Düngeverordnung. Extrait de : Fahn, C., W. Windisch (Ed.) : 52. Jahrestagung der Bayerischen Arbeitsgemeinschaft Tierernährung e.V. – « Tierernährung und Umwelt ». Eigenverlag BAT e.V. Freising. p. 1-6.
- [2] MÖLLER, K. & T. MÜLLER (2012) : Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth : A review. *Engineering in Life Science*, 12 (3), p. 242-257.
- [3] GRAFF, O. (1983) : Unsere Regenwürmer – Lexikon für Freunde der Bodenbiologie. Verlag M. & H. Schaper, Hannover.
- [4] DUNGER, W. (2008) : Tiere im Boden. Westarp Wissenschaften, Hohenwarsleben.
- [5] EHRMANN, O. (2012) : Der unterirdische Mitarbeiterstamm. Bedeutung von Regenwürmern für den Ackerbau, Landwirtschaft ohne Pflug 11, p. 25-34.
- [6] WENDLAND, M., F. LICHTI (2012) : Biogasgärreste – Einsatz von Gärresten aus der Biogasproduktion als Düngemittel. Extrait de : Biogas-Forum Bayern N° I–3/2012. Hrsg. ALB Bayern e.V., <http://www.biogas-forum-bayern.de/media/files/0003/2biogasg-rreste-berarbeitet2012.pdf>
- [7] THOMSEN, I. K., J. E. OLESEN, H. B. MØLLER., P. SØRENSEN, B. T. CHRISTENSEN (2013) : Carbon dynamics and retention in soil after anaerobic digestion of dairy cattle feed and faeces. *Soil Biology & Biochemistry*, 58, p. 82-87.
- [8] ERNST, G., A. MÜLLER, H. GÖHLER, C. EMMERLING (2008) : C and N turnover of fermented residues from biogas plants in soil in presence of three different earthworm species (*Lumbricus terrestris*, *Aporrectodea longa*, *Apporectodea caliginosa*). *Soil Biology & Biochemistry*, 40, p. 1413-1420.
- [9] REINHOLD, G. & W. ZORN (2008) : Eigenschaften und Humuswirkung von Biogasgülle. Extrait de : Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (Ed.), VDLUFA Schriftenreihe 64, p. 404-409.
- [10] HERBKE, G., G. HÖLLER, G. HÖLLER-LAND, D. E. WILCKE (1962) : Die Beeinflussung der Bodenfauna durch Düngung, Monographien zur Angewandten Entomologie N° 18.
- [11] EDWARDS, C. & LOFTY, J. (1982) : Nitrogenous fertilizers and earthworm populations in agricultural soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 14, p. 515-521.
- [12] BUTZ-STRAZNY, F. & R. EHRNSBERGER (1993) : Auswirkungen von mineralischer und organischer Düngung auf Mesostigmata (Raubmilben) und Collembola (Springschwänze) im Ackerboden. In R. EHRNSBERGER (Ed.), *Bodenmesofauna und Naturschutz* Vol.6, S. 220-249.
- [13] ESTEVEZ, B., A. N'DAYEGAMIYE, D. CODERRE (1996) : The effect on earthworm abundance and selected soil properties after 14 years of solid cattle manure and NPKMg fertilizer application. *Canadian Journal of Soil Science* 76 (3). p. 351-355.
- [14] WHALEN, J.K., R. PARMELEE, C. EDWARDS (1998) : Population dynamics of earthworm communities in corn agroecosystems receiving organic or inorganic fertilizer amendments. *Biology and Fertility of Soils* 27, p. 400-407.
- [15] LEROY, B., O. SCHMIDT, A. VAN DEN BOSSCHE, D. REHEUL, M. MOENS (2008) : Earthworm population dynamics as influenced by the quality of exogenous organic matter. *Pedobiologia* 52, p. 139-150.
- [16] BRAUCKMANN, H. & G. BROLL (2007) : Auswirkungen der Ausbringung von Gärresten aus Biogasanlagen auf Regenwürmer. *Mitteilungen der deutschen bodenkundlichen Gesellschaft*, 110 (2), p. 747-748.
- [17] BERMEJO, G. (2012) : Agro-ecological aspects when applying the remaining products from agricultural biogas processes as fertilizer in crop production. Dissertation Humboldt Universität zu Berlin, p. 106.
- [18] CLEMENTS, L. J. (2013) : The suitability of anaerobic digesters on organic farms. Dissertation University Southampton, p. 196.
- [19] WOLFRUM, S., M. THOMAS-RADEMACHER, S. PAPAJA, H. RENNTS, M. KAINZ & K. HÜLSBERGEN (2011). Influence of crop rotation in energy crops and biogas slurry application on earthworm populations. Extrait de : International Society of Organic Agriculture Research (Ed.), *Proceedings of*

- the third scientific conference of SOFAR - Organic is Life Knowledge for Tomorrow Vol. 2, p. 303-306.
- [20] ELSTE, B., J. RÜCKNAGEL & O. CHRISTEN (2011) : Einfluss von Biogasgärrückständen auf Abundanz und Biomasse von Lumbriciden. In ELSÄßER, M., M. DIEPOLDER, O. HUGUENIN-ELIE, E. PÖTSCH, H. NUßBAUM & J. MESSNER (Ed.), Gülle 11 - Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland, p. 213-217.
- [21] WRAGGE, V. (2013) : Gärprodukte aus Biogasanlagen im pflanzenbaulichen Stoffkreislauf. Dissertation Humboldt Universität zu Berlin, p. 153.
- [22] FRØSETH, R. B., A. K. BAKKEN, M. A. BLEKEN, H. RILEY, R. POMMERESCHE, K. THORUP-KRISTENSEN & S. HANSEN (2014) : Effects of green manure herbage management and its digestate from biogas production on barley yield, N recovery, soil structure and earthworm populations. *European Journal of Agronomy*, 52, p. 90-102.
- [23] PETZ, W. (2000) : Auswirkungen von Biogasgülledüngung auf Bodenfauna und einige Bodeneigenschaften, Studie im Auftrag der Oberösterreichischen Landesregierung, p. 19.
- [24] COTTON, D. C. F. & J. P. CURRY (1980) : The response of earthworm populations (*Oligochaeta*, *Lumbricidae*) to high applications of pig slurry. *Pedobiologia*, 20, p. 189-196.
- [25] BAUCHHENß, J. (1981) : Wirkung belüfteter und unbelüfteter Gülle auf die Regenwurmfauna. In Bundesversuchsanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein (Ed.), Bericht über die 7. Arbeitstagung "Fragen der Güllerei" gehalten vom 29. September bis 2. Oktober in Gumpenstein, Bundesversuchsanstalt für alpenländische Landwirtschaft, p. 739-748.
- [26] WALTER, R., J. BURMEISTER & T. KREUTER (2012). Effekte der Gärrest-Düngung auf Regenwürmer. Extrait de : Stadt Marktredwitz (Ed.), 7. Marktredwitzer Bodenschutztag - Erneuerbare Energien und Bodenschutz, Marktredwitz, p. 199-205.
- [27] WALTER, R., J. BURMEISTER (2012) : Effekte der Gärrestdüngung auf Bodentiere – eine Zwischenbilanz. Extrait de : Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Ed.), 10. Kulturlandschaftstag - Düngung mit Biogasgärresten. Schriftenreihe 11/2012, Freising, p. 31-47.
- [28] BURMEISTER, J., A. GRIEGEL, B. MEHLHAFF, T. KREUTER, R. WALTER (2012) : Effekte der Gärrest-Düngung auf Springschwänze (*Collembola*) und Milben (*Acari*) – Feldversuche im Versuchsgut Scheyern, extrait de : Stadt Marktredwitz (Ed.), 7. Marktredwitzer Bodenschutztag - Erneuerbare Energien und Bodenschutz, Marktredwitz, p. 142-148.
- [29] BURMEISTER, J. (2013) : Erste Ergebnisse zum Einfluss der Gärrestdüngung auf die Laufkäferfauna auf vier bayerischen Versuchsfeldern. *Angewandte Carabidologie* 10, p. 3-11.
- [30] HARTMANN, S., D. HOFMANN, F. LICHTI, K. GEHRING (2011) : Weidelgras-Untersaaten in Wintergetreide zur GPS-Nutzung als Biogassubstrat. Extrait de : *Biogas-Forum Bayern Nr. I-16/2011*. Hrsg. ALB Bayern e.V., <http://www.biogas-forum-bayern.de/media/files/0001/Weidelgras-Untersaaten-in-Wintergetreide.pdf>
- [31] STADLER, M., G. DÖRING (2013) : Bodenfruchtbarkeit unter Druck – die Basis zur nachhaltigen, ökologischen und ökonomischen Biomasseproduktion. Extrait de : *Biogas-Forum Bayern N° II– 20/2013*. Hrsg. ALB Bayern e.V., <http://www.biogas-forum-bayern.de/media/files/0001/Bodenfruchtbarkeit-unter-Druck.pdf>
- [32] BRUNOTTE, J., R. BRANDHUBER, J. BUG, M. BACH, H. HONECKER, C. EBACH, S. SCHRADER, T. WEYER, T. VORDERBRÜGGE, W. SCHMIDT (2013) : Gute fachliche Praxis – Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz. Aid Infodienst e.V., Bonn.
- [33] WENDLAND, M., E. ATTENBERGER (2009) : Wirtschaftsdünger und Gewässerschutz, LfL – Information, http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/p_34348.pdf consulté le 21.08.2014.

Le « Biogas Forum Bayern » est une plateforme d'information qui vise à transmettre les connaissances relatives à la production de biogaz agricole en Bavière

Groupe de travail I (production de substrat)

Élaboration de publications spécialisées portant sur les sujets suivants :

- Sélection et culture des matières premières renouvelables
- Assolement
- Valorisation des digestats et fertilisation

Membres du groupe de travail I (production de substrat)

- **Service de l'alimentation, de l'agriculture et des forêts d'Ansbach et de Bamberg**
- **Office bavarois de l'agriculture**

Institut pour la culture et la sélection des plantes

Institut de génie rural et d'élevage

Institut pour l'agro-écologie, l'agriculture biologique et la préservation des sols

- **Office bavarois de la viticulture et de l'horticulture**
- **Office national bavarois pour l'environnement**
- **Exploitants des usines de production de biogaz**
- **C.A.R.M.E.N. e.V.**
- **Université Weihenstephan-Triesdorf**
- **Conseil national de la production végétale en Bavière**
- **Centre de formation agricole de Triesdorf**
- **Centre de promotion et de technologie au sein du centre de compétences pour les matières premières renouvelables en Allemagne**

Références :

Burmeister, J., R. Walter et M. Fritz (2014) : Fertilisation à base de digestats – Effets sur la faune du sol Extrait de : Biogas Forum Bayern N° 1 - 27/2015, éd. ALB Bayern e.V., http://www.biogas-forum-bayern.de/De/Fachinformationen/nachhaltig-erneuerbar-energie_Substratproduktion Version [date de consultation].



Éditeur :

Arbeitsgemeinschaft Landtechnik
und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.
Vöttinger Straße 36
85354 Freising

Tél. : 08161/71-460

Fax : 08161/71-5307

Internet : <http://www.biogas-forum-bayern.de>

E-mail : info@biogas-forum-bayern.de