



Impact de la méthanisation et de l'épandage de digestats sur les fertilités physique et biologique des sols

Résultats des mesures réalisées dans le programme ACSE 2023-2025



Rédaction : Frédéric Berhaut (CDA 52), Sarah Bocahut (CDA 08), Thomas Kilbourg (CDA57), Laurine Lacroix (CDA 55), Remy Michael (CA Alsace), Thiebaut Simon (CRA GE)
Coordination : Sophie Maillant (CRA GE)



Avec le soutien de :

climaxion
anticiper • économiser • valoriser

Financé par :



Avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale développement agricole et rural CASDAR



Avant-propos

Le besoin croissant en énergie verte a amené ces dernières années à un développement considérable d'unités de méthanisation. Ces unités sont alimentées avec différents produits (CIVE, fumiers, lisiers, résidus de cultures etc.) qui sont "digérés", c'est-à-dire, transformés en partie ou dégradés par des bactéries en conditions anaérobies. Le produit résiduaire, appelé digestat revient au sol sous forme liquide ou plus ou moins solide. De nombreuses questions se posent concernant l'impact de ces épandages sur le fonctionnement biologique du sol et sur l'intérêt ou les conséquences agronomiques qu'on peut y trouver :

- Comment est épandu le digestat, avec quel matériel, dans quelle situation et **quel est l'impact de l'épandage au niveau du tassement** du sol et sur le rendement des cultures?

- Une fois épandu, quel est le comportement et l'impact du digestat au niveau des équilibres physico-chimiques et de **l'activité biologique** du sol. Comment évolue le carbone apporté : en une fraction labile rapidement disponible ou est-il déjà trop décomposé pour fournir de l'énergie aux organismes du sol ?

- **Quels impacts les changements des pratiques agricoles auront-ils sur le bilan humique global du sol?** La modification des systèmes avec une exportation des couverts végétaux, voir des résidus de culture, compensée par des apports de matières organiques évoluées, doit être analysée par des simulations sur le long terme. Les résultats de ces simulations permettent d'élaborer des messages techniques et d'adapter les stratégies agricoles pour éviter des diminutions de quantités de matières organiques dans le sol, qui seraient préjudiciables au sol, aux cultures et éventuellement aux territoires, en favorisant, par exemple, l'érosion.

Le programme ACSE 3 porté par la Chambre Régionale d'Agriculture du Grand Est et les Chambres Départementales de ce territoire a permis la réalisation de ce document de synthèse réalisé à partir des résultats de mesures en parcelles d'agriculteurs et de simulations basées sur des cas réels. Il apporte un éclairage nouveau sur l'intérêt et les limites de l'utilisation de digestat en agriculture.



*Tache de digestat à la surface du sol,
après épandage*

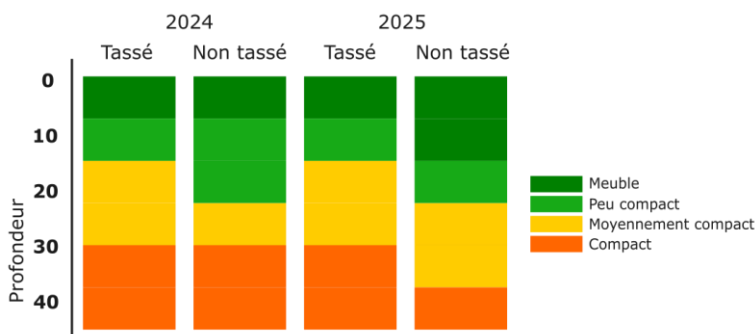
Effet de l'épandage de digestat sur la fertilité physique : comparaison de bandes tassées et non tassées

Introduction

L'épandage de digestat constitue une intervention mécanisée supplémentaire sur la culture, réalisée après son implantation et qui implique généralement de circuler hors des passages utilisés pour la fertilisation azotée et/ou les traitements phytosanitaires. Il existe donc un risque de provoquer des tassements préjudiciables au développement des cultures.

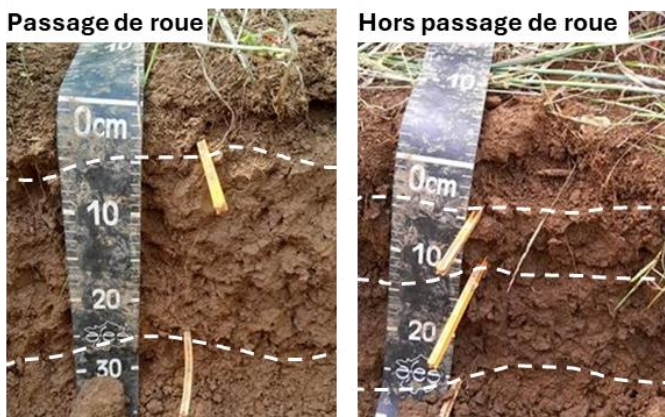
Nous avons réalisé des essais afin de mesurer l'impact du tassement sur les rendements du blé dans différents contextes agro-pédologiques de la région. Des tests bêche et des mesures au pénétromètre ont été réalisés pour caractériser l'état du sol sous et en-dehors des passages de roues.

Mesures de tassement



Dans la parcelle présentée, on ne constate **pas de grosses différences de tassement** entre le passage de roue et la zone non impactée lors de ces mesures réalisées début mars, peu de temps après l'épandage des digestats.

Mesures au pénétromètre sur sol limoneux



Horizon grumeleux, mottes ouvertes, meuble, racines présentes partout

Structure massive/continue, mottes fermées, très compact, racines coudées

Horizon grumeleux, mottes ouvertes, meuble, racines présentes partout

Structure polyédrique, mottes partiellement fermées compact, racines dans les fissures

Structure polyédrique, mottes fermées, compact, racines dans les fissures

Comparaison des profils à la bêche sur sol argilo-calcaire moyennement profond

Mesures de rendement

Sur l'ensemble des mesures effectuées, les différences de rendement entre les zones de passage et celles non tassées ne sont pas statistiquement significatives. Si l'on considère les résultats individuellement, site par site, un seul essai présente un écart significatif : **la perte de rendement sur cet essai en blé bio est de 14,3 quintaux soit une baisse de 40 % par rapport à la zone non tassée.**

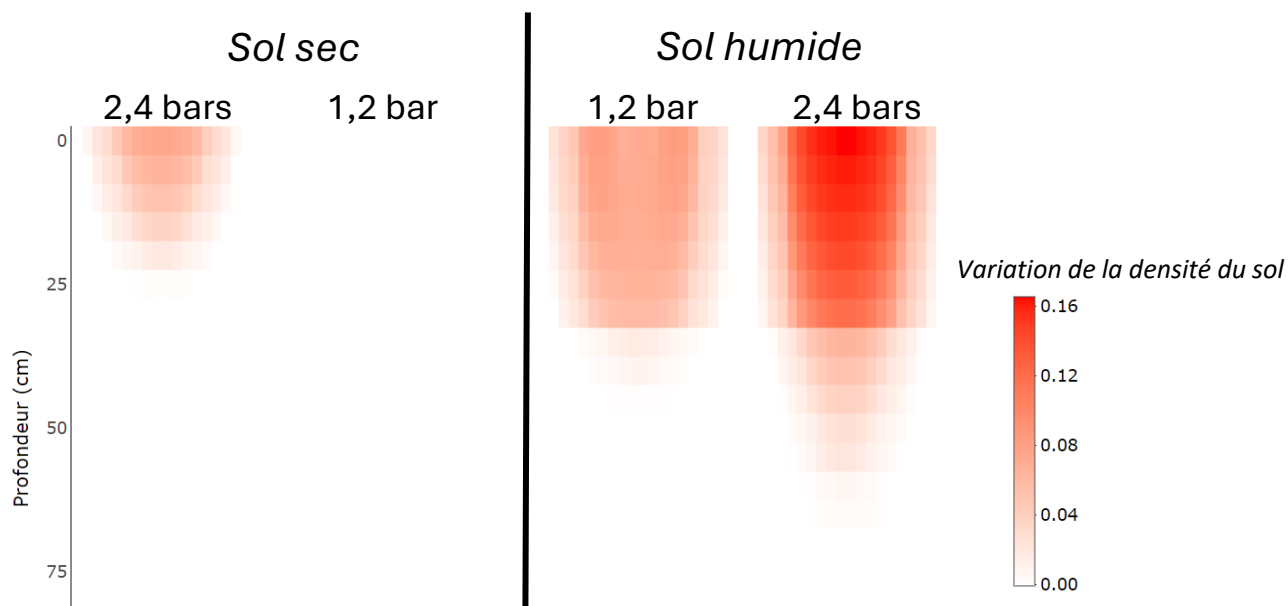
Le faible impact du tassement sur le rendement dans les autres cas s'explique notamment **par l'absence de stress hydrique marqué** les deux années de l'essai (2024 et 2025) et par le fait que le blé (choisi pour sa présence dans toute la région) n'est pas la culture la plus sensible au tassement du fait de son implantation à l'automne.

L'absence d'impact sur le rendement lors de ces essais ne doit pas occulter le fait que celui-ci sera **plus marqué sur les cultures de printemps** dont l'enracinement se fait principalement après la période d'épandage, contrairement aux cultures d'automne/hiver.

Effet de l'épandage de digestat sur la fertilité physique : nos recommandations pour limiter les tassements

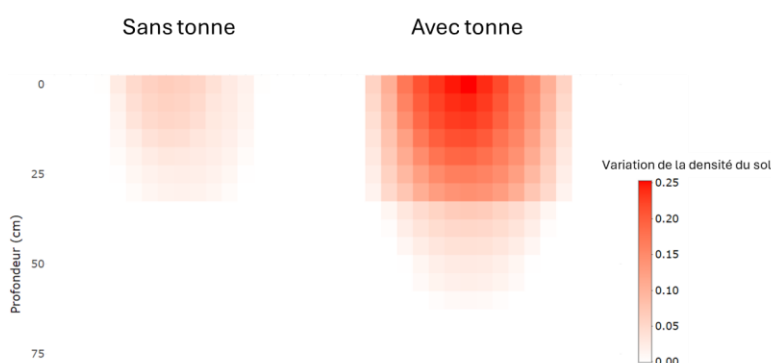
Tassement en fonction de l'humidité et de la pression des pneumatiques

L'état d'humidité du sol au moment de l'épandage a une influence beaucoup plus importante sur le tassement que la pression des pneumatiques.



Simulation du tassement provoqué par un automoteur utilisé pour l'un de nos essais. Seuls l'état d'humidité du sol et la pression des pneumatiques varient. Toutes les autres caractéristiques sont égales.

Adapter les techniques d'épandage



L'épandage sans tonne permet d'éviter de circuler avec le digestat dans la parcelle. Le risque de tassement est donc fortement réduit car c'est surtout la tonne qui provoque du tassement (plus que le tracteur). Malgré une mise en œuvre plus complexe cette technique permet de réduire les distances parcourues dans la parcelle en supprimant les allers-retours pour ravitailler la tonne.

Simulation du tassement provoqué par un ensemble tracteur + tonne comparativement à un tracteur avec rampe d'épandage sans tonne (alimenté en digestat depuis le bord de la parcelle par un tuyau). Les conditions de sol et d'humidité sont identiques, de même que les caractéristiques du tracteur (masse, type de pneus et pression) utilisé pour les deux techniques d'épandage.

Gérer ses volumes de digestats pour réduire le risque

Dès la conception de l'unité de méthanisation la **capacité de stockage des digestats doit être correctement dimensionnée**. Disposer d'une « surcapacité » (même limitée aux volumes produits par quelques jours de fonctionnement) permet de différer légèrement les apports de digestat et limiter les épandages sur sols trop humides ou détrempés.

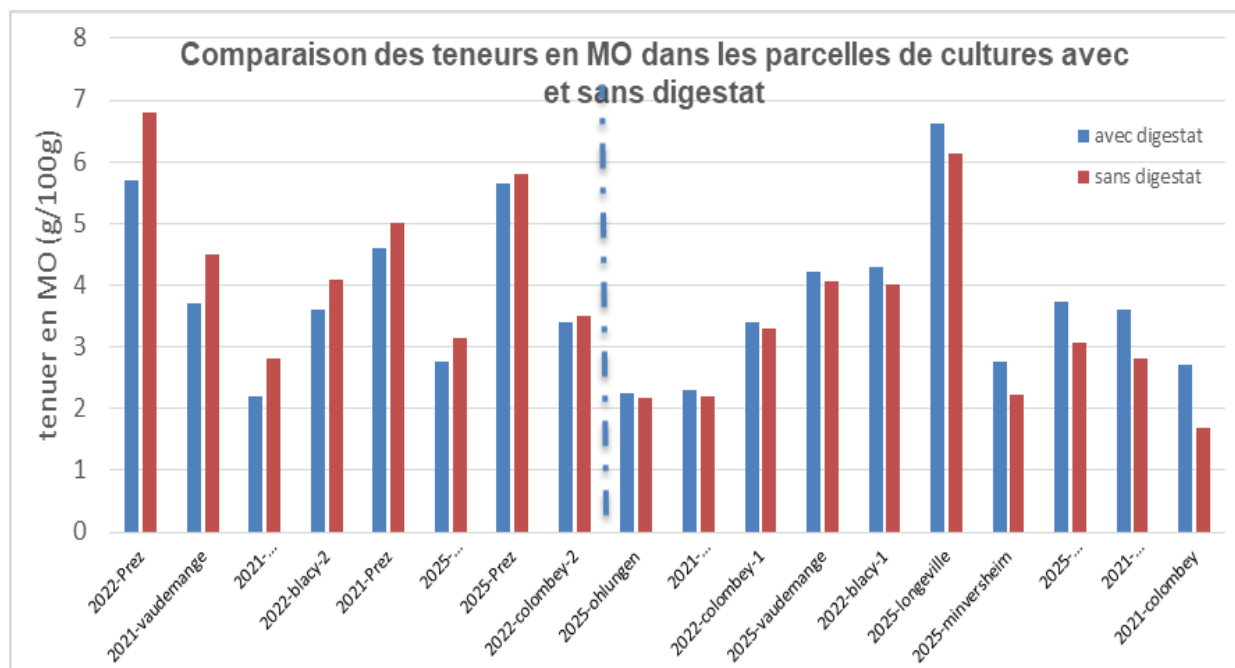
Effet de l'épandage de digestat sur la fertilité organo-biologique : comparaisons de bandes « avec digestat » et « sans digestat »

Introduction

Le principe de cette étude a consisté à analyser le comportement du sol, **amendé ou non en digestat** (comparaison intra-parcellaire) sur les plans physico-chimique et biologique dans des parcelles recevant des digestats (brut, solide ou liquide) depuis plus de 5 ans (jusqu'à 16 ans). Les digestats sont majoritairement issus de la méthanisation de CIVE et de fumier. Les parcelles suivies étaient réparties dans 8 départements. Les mesures ont été répétées sur plusieurs années. Pour certaines parcelles, les mesures ont été répétées à plusieurs endroits la même année.

1. Teneur en matière organique

La matière organique du sol (MO) regroupe l'ensemble des composés d'origine végétale, animale et microbienne présents dans le sol, à différents stades de décomposition. Les matières organiques jouent un rôle fondamental dans le fonctionnement des sols. Elles contiennent des nutriments, maintiennent la structure du sol, favorisent la rétention de l'eau etc. Les teneurs moyennes de matières organiques des sols dépendent des caractéristiques physiques du sol (taux de sable, limon, argile), de leur usage (grande culture, prairies etc.) et de la gestion des apports et exportations (déjections animales, résidus de cultures, pailles).



Parmi les 18 couples de parcelles, 8 situations présentent des teneurs de matières organiques plus élevées dans la zone sans digestat et 10 situations avec moins. **Il n'y a donc pas d'effet net d'augmentation ou de diminution du taux de matière organique lié uniquement au digestat dans ce réseau de parcelles. Les autres pratiques ont une influence dominante** : productivité et gestion des résidus des cultures, quantités et des types des autres apports de matières organiques (fumier, lisier, fientes etc.)

2. Matières organiques labiles et stables

La dégradation de la matière organique par les micro-organismes du sol conduit à la formation de matières organiques fraîches (labiles et facilement minéralisables, sources d'éléments fertilisants) et de matières organiques stables (humifiées, à dégradation lente et favorable à la structuration du sol et la rétention en eau). Ces caractéristiques sont complémentaires dans le fonctionnement du sol. La répartition entre MO lente et MO rapide dépend de la texture et des pratiques. Sur des sols à texture grossière, la MO stable représente 60 à 70% de la MO totale tandis que dans les sols argileux, cette fraction peut représenter jusqu'à 85% de la MO totale.

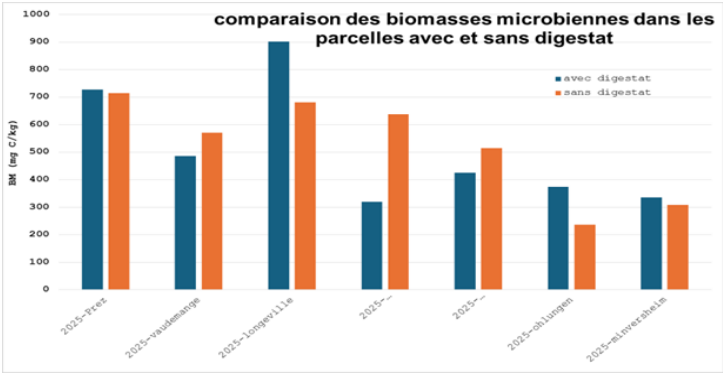
	% Mo libre/MO totale	%Mo stable/MO totale
Digestat	16,7	83,3
Sans Digestat	15,3	84,7

La répartition des fractions libres et stables est identique dans les zones avec digestat et sans digestat. Le petit écart n’est pas significatif. La quantité de MO apportée par le digestat n’est pas suffisante par rapport à la quantité de MO déjà présente et par rapport aux autres apports, pour avoir un effet visible.

3. Biomasse microbienne

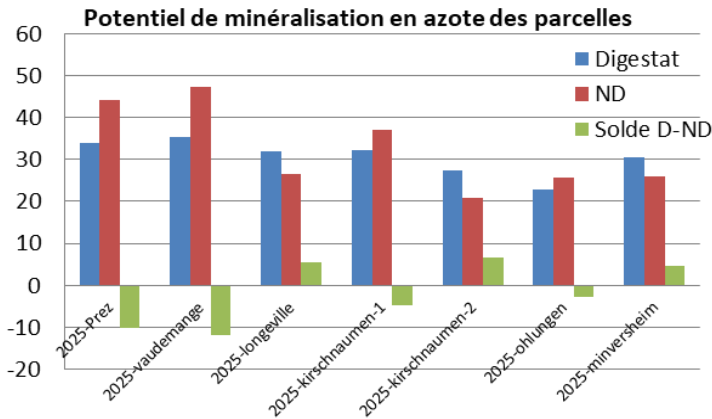
La transformation des matières organiques qui tombent au sol est effectuée entre autres par des bactéries et champignons. Ces micro-organismes sont des éléments clef de la **minéralisation et de l’humification**. Leur abondance peut être mesurée pour évaluer le fonctionnement biologique d’un sol par la mesure de « **Biomasse Microbienne** » par fumigation (BM). Cette abondance varie entre 100 et 3000 mgC/kg TS.

L’abondance de la biomasse microbienne est plus liée au type de sol et à la teneur en matière organique du sol qu’à l’apport de digestat.



4. Potentiel de minéralisation

Le potentiel de minéralisation de l’azote organique du sol est un indicateur d’activité microbologique du sol. Ces derniers dégradent la matière organique pour fournir des éléments minéraux et notamment de l’azote à la plante.



Les analyses réalisées montrent autant de situations d’augmentation ou de diminution du potentiel de minéralisation du sol, en présence de digestat par rapport à la zone sans digestat.

CONCLUSION

On n’observe pas de tendance nette d’un effet favorable ou défavorable du digestat sur le sol au sein du réseau suivi. La diversité des situations et systèmes d’exploitation agricole entraine des résultats souvent différents d’un site à un autre. Il n’y a pas non plus de situation problématique. Des résultats plus marqués peuvent être obtenus dans des sites expérimentaux et en laboratoire, (projet METHABIOSOL par exemple), invitant à suivre les pratiques au champ sur un temps plus long.

L’utilisation du digestat doit être raisonnée en l’intégrant dans la gestion globale des entrées et sorties de la matière organique, comprenant les résidus de cultures, les apports de fumiers, lisiers, ou compost et l’utilisation de CIVE (Couverts Intermédiaire à Vocation Energétique).

Effet de l'épandage de digestat sur la fertilité organo-biologique : évolution dans le temps (54, 52, 57, 51, 08)

Deux protocoles ont été suivis pour cette étude :

Protocole n°1 avec et sans digestat : Les prélèvements de sol ont été réalisés au sein de parcelles recevant régulièrement du digestat depuis au moins 5 ans et disposant d'une bande sans digestat. Cette configuration permet de garantir la similarité de la texture (vérifié par analyse) et des pratiques au fil des années.

Protocole n°2 avec digestat uniquement : Pour 5 parcelles, il s'est agi de suivre l'évolution de la fertilité en comparant des analyses anciennes avec des analyses de 2025. La parcelle de Grivée (52) reçoit des apports de digestat depuis plus de 10 ans. Tandis que les apports de digestat des 4 parcelles du 54 ont débuté en 2019 après les analyses.

Parcelles du protocole n° 1

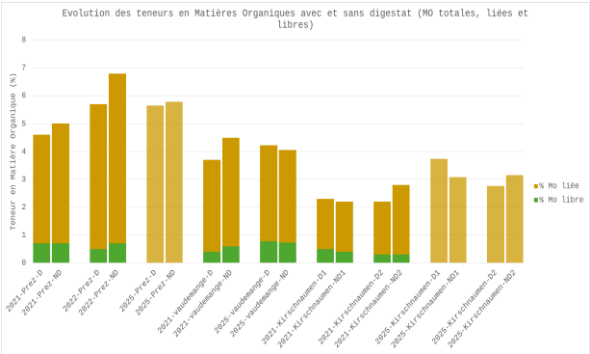
Département	Nom parcelle	Texture du sol
08	Prez	Limono-argilo-sableux
51	Vaudemange	Limono-argilo-sableux
57	Kirschnaumen	Limono-argileux
57	Kirschnaumen	Limono-argileux

Parcelles du protocole n° 2

Département	Nom parcelle	Texture du sol
52	Grivée	Limono-argileux
54	Bausch	Argile-limoneuse
54	Tjis	Argile limono-sableux
54	Daville	Argile-limoneuse
54	Grosse	Argile limono-sableux

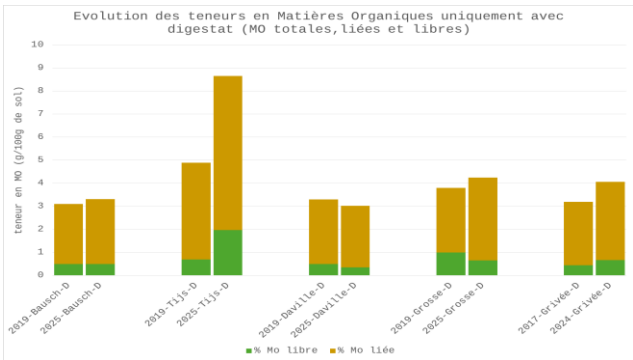
1. Teneur en Matières Organiques libres et liées

Parcelles du protocole n° 1



Les teneurs en Matières Organiques libres et liées du protocole n° 1 ne montrent pas de différences significatives entre les deux pratiques au fil du temps.

Parcelles du protocole n° 2

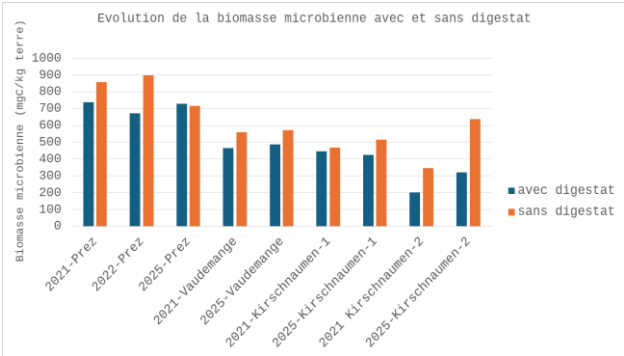


Les teneurs en Matières Organiques libres et liées du protocole n° 2 ne montrent pas d'effet significatif sauf pour la parcelle Tjis avec un doublement des teneurs en MO des deux types.

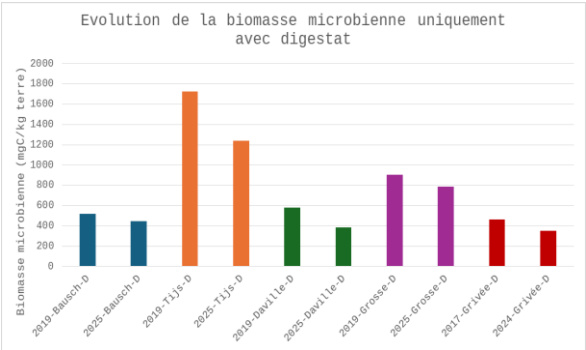
2. 2. Quantité et activité des micro-organismes (Biomasse microbienne + Potentiel minéralisation)

La biomasse microbienne représente l'abondance de la population microbienne (champignons, bactéries, procaryotes).

Parcelles du protocole n° 1



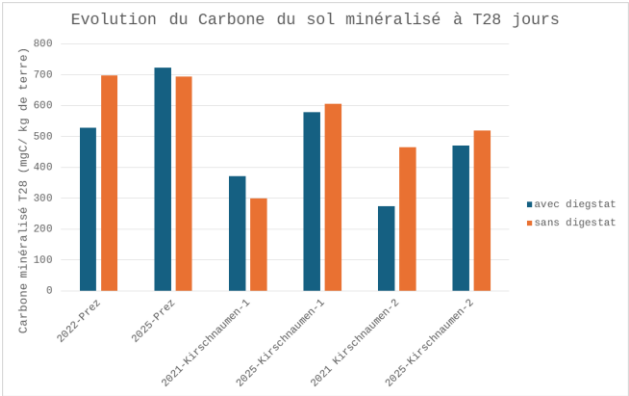
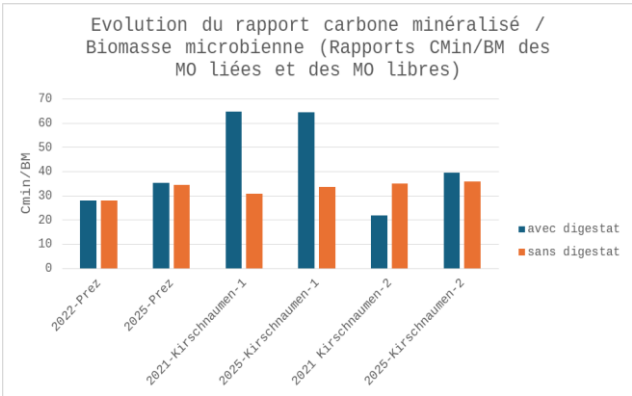
Parcelles du protocole n° 2



La biomasse microbienne des parcelles suivies est plus importante dans les bandes n'ayant pas reçu de digestat. On peut noter aussi qu'entre les 2 analyses, la quantité des micro-organismes évolue peu entre les deux dates d'analyse, sauf dans un cas. L'évolution (diminution, stagnation ou augmentation) n'est pas toujours dans la même dans les deux zones.

La **biomasse microbienne semble diminuer** au cours du temps dans les parcelles recevant des digestats. Cette tendance n'est cependant pas très importante et pourrait être expliquée par d'autres facteurs (forte pluviométrie 2024 ayant eu un impact sur la structure et donc sur les populations microbiennes) => besoin de confirmation dans quelques années.

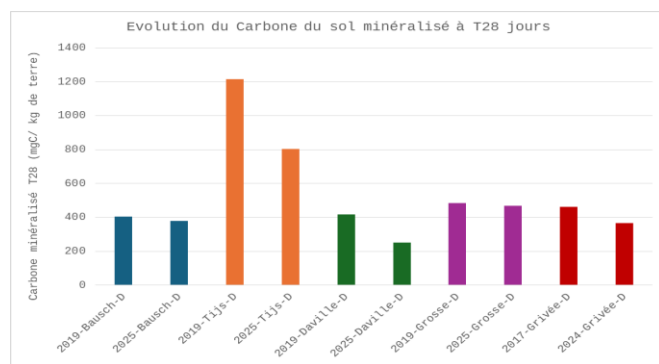
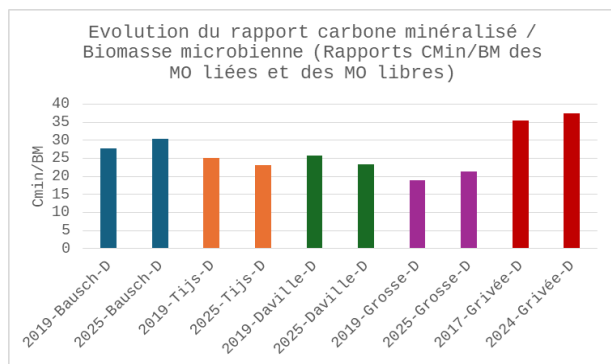
Parcelles du protocole n° 1



Les deux graphiques montrent l'activité des populations microbiennes. Dans les parcelles du protocole n° 1, **l'activité microbienne reste globalement stable** au cours des années, sans lien avec les apports ou l'absence de digestat (graphique de gauche). Cependant, pour la parcelle de Kirschnaumen–1, on observe une activité plus importante dans la parcelle ayant reçu du digestat.

Les **quantités de carbone** disponible pour les micro-organismes (graphiques de droite) sont en augmentation pour presque toutes les parcelles et selon les deux modalités au cours des années.

Parcelles du protocole n° 2



De même, les résultats du protocole n° 2 montrent que la population microbienne reste globalement stable au fil du temps (graphique de gauche). En revanche, les quantités de carbone disponible pour les micro-organismes semblent baisser plus ou moins fort entre les deux analyses (graphique de droite).

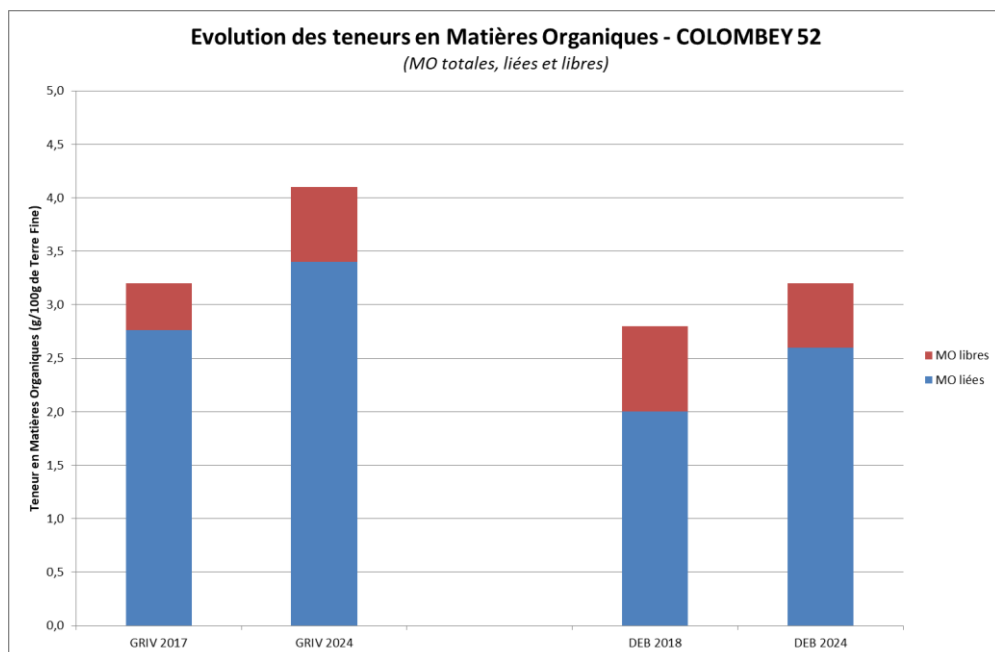
CONCLUSION

Les parcelles suivies ne montrent pas d'évolution forte de la fertilité organo-biologique au cours du temps que ce soit par comparaison intra-parcellaire ou que par comparaison d'analyses espacées de plusieurs années.

Effet de l'épandage de digestat sur la fertilité organo-biologique : évolution dans le temps (exemple de 2 parcelles de Haute-Marne)

Parcelles recevant régulièrement du digestat brut, issu de déchets agroalimentaires et fumier sur lesquelles des analyses ont été effectuées en 2017 / 2018 puis en 2024 (même position GPS).

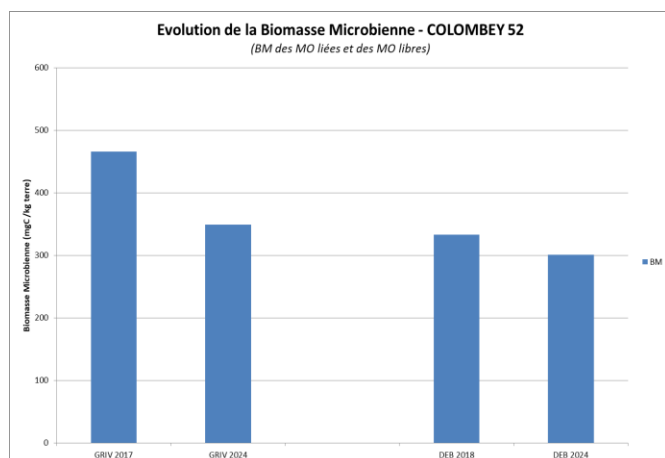
Teneurs en Matières Organiques : totales, libres et liées



La Matière Organique peut être classée en 2 fractions : les MO liées (ou stables) et les MO libres (ou labiles).

Ici, les teneurs en MO ont augmenté dans les deux parcelles, principalement les MO liées.

Quantité et activité des micro-organismes (Biomasse microbienne + potentiel de minéralisation)



La Biomasse Microbienne renseigne sur la quantité de micro-organismes présents dans le sol (bactéries, champignons et protozoaires). Elle dépend des conditions de sol (porosité, humidité, ...) et des pratiques culturales (travail du sol, fertilisation, restitution des résidus, ...).

Les biomasses microbiennes sont en baisse sur la parcelle "GRIV" (2017 vs 2024) et assez faibles mais stables sur la parcelle "DEB" (2018 vs 2024).

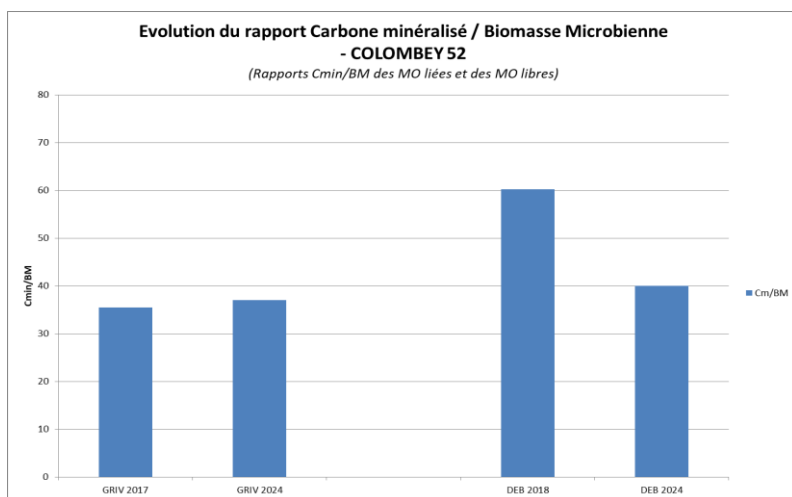
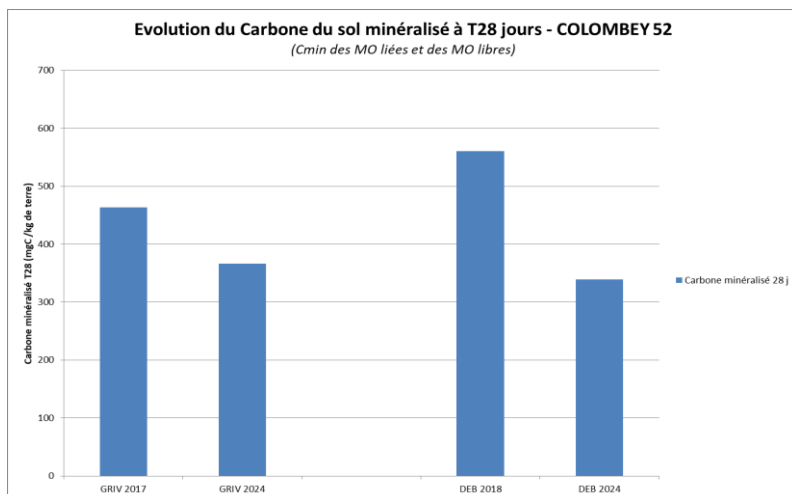
A noter que 2018 et 2024 ont été deux années pluvieuses (plus de 1000 mm cumulés) et donc potentiellement moins favorables à l'activité biologique ...

Les deux graphiques ci-contre donnent des informations sur la minéralisation du Carbone présent dans le sol.

Le Carbone minéralisé T28 (en mgC /kg de terre) indique la quantité de carbone libéré dans le sol par l'activité microbienne. Ce carbone est potentiellement disponible pour les micro-organismes (en bonnes conditions de température, humidité et oxygène).

Le rapport Carbone minéralisé / Biomasse Microbienne est un indicateur de l'activité et de la croissance des populations de micro-organismes du sol.

Dans ces deux parcelles, les quantités de Carbone disponibles pour les micro-organismes du sol sont en baisse (graphique du haut). Malgré tout, la biomasse microbienne reste active (graphique du bas, rapport Cmin / BM aux alentours de 30 à 40).



CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Ces deux parcelles sont restées favorables à l'activité biologique : entre les deux périodes de prélèvement, les stocks de carbone ont augmenté et ont conservé une proportion importante de MO labiles, sources d'énergie pour les micro-organismes.

Bien que les conditions du milieu soient moins favorables en 2024 (baisse de la Biomasse Microbienne, ...), les micro-organismes sont toujours actifs. Ils ont donc accès aux réserves de Carbone.

Dans ces deux parcelles nous conseillons :

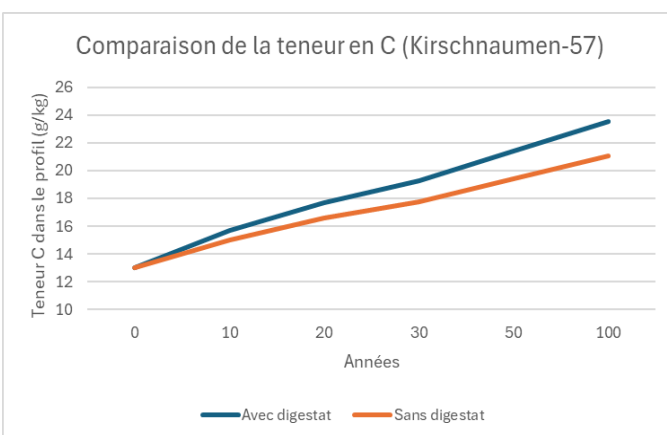
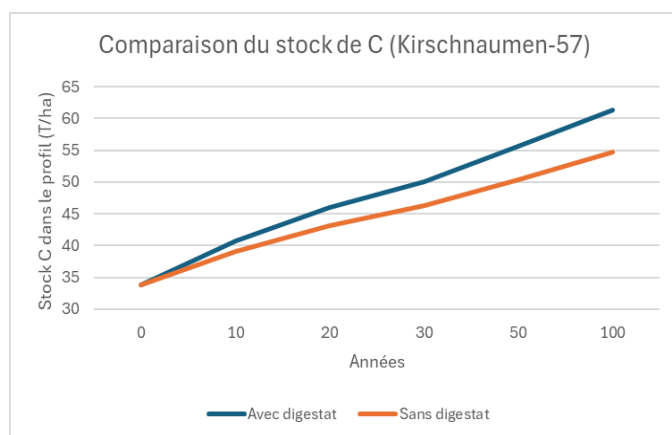
- De faire des apports diversifiés de matières organiques : compléter les apports réguliers de digestats bruts présents sur la ferme (riches en MO liées) par des restitutions de résidus de cultures (pailles) et de couverts d'interculture (riches en MO libres).
- De privilégier des couverts multi-espèces, à base de crucifères et graminées, pour rechercher des C/N plus "élevés" et valoriser l'azote du sol pendant l'interculture (reliquats élevés).
- De contrôler la porosité du sol (aération) : l'année 2024, très pluvieuse, a certainement contribué à refermer ces sols (asphyxie), sans compter les problèmes de tassement, compaction, ... lors des interventions culturales.

Effet de l'épandage de digestat sur le bilan humique

Introduction

Dans cette partie, nous évaluons l'impact de la méthanisation sur le bilan humique. La simulation des conduites culturales de quelques parcelles du projet a été réalisée avec l'outil SIMEOS AMG® mis à développé par Agro-Transfert Picardie.

En premier lieu, si l'on s'intéresse **uniquement à l'impact de l'épandage de digestat** sans faire bouger les autres paramètres, on constate que l'apport supplémentaire de digestat liquide vis-à-vis d'une même situation augmente le stock et la teneur en carbone dans les sols.



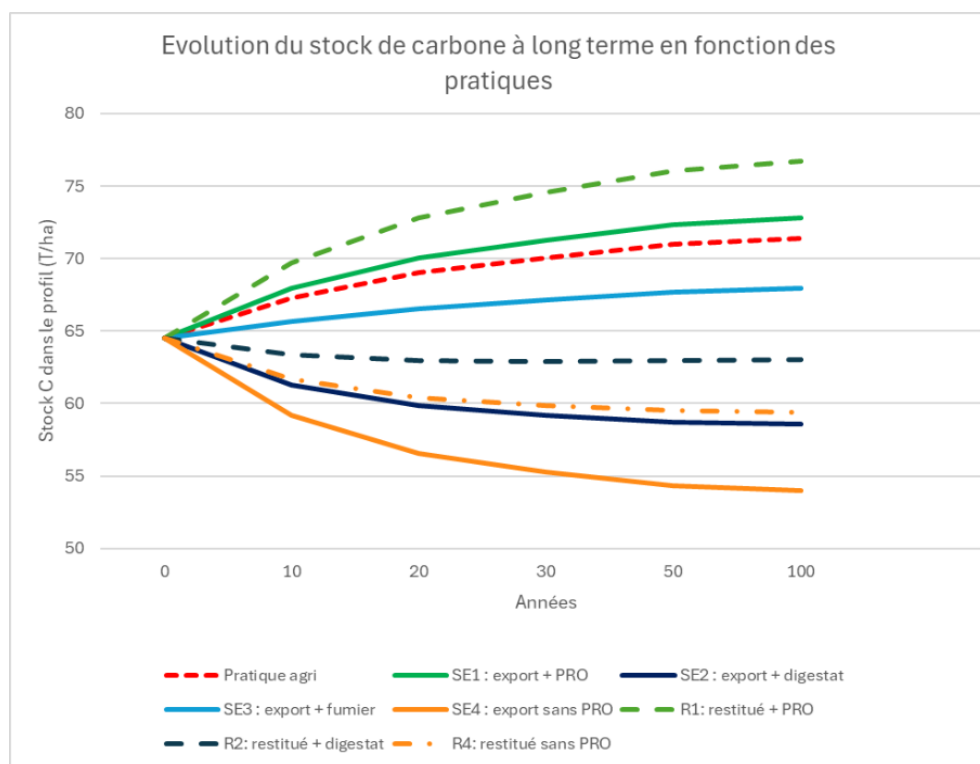
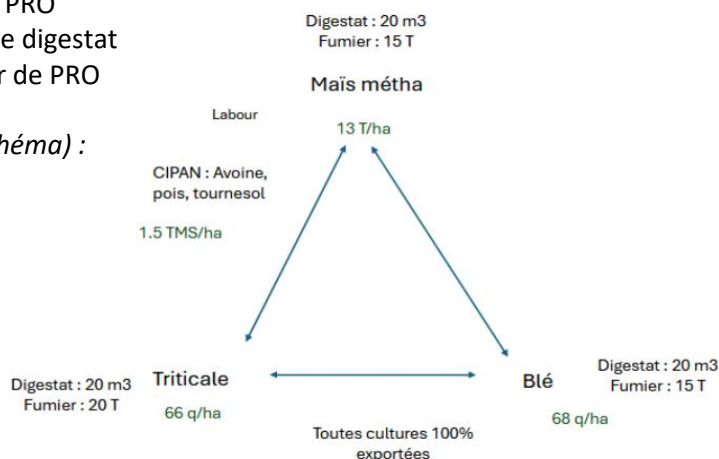
Dans le cas de la parcelle de Kirschnaumen (57), l'apport de digestat liquide a lieu 1 an sur 2. Les courbes montrent l'augmentation du stock et de la teneur en carbone dans cette situation.

Ensuite on peut comparer **l'effet d'apports de digestat liquide conjoint avec d'autres pratiques** : apports d'autres produits organiques ou restitutions ou exportations de couverts ou de pailles. Ces simulations ont été réalisées à partir des itinéraires de deux parcelles : Charny-sur-Meuse (55) et Oberroedern (67).

Différents scénarios ont été testés :

- E1 : export (seigle en CIVE 9 TMS à la place d'une CIPAN) et retour de PRO
- E2 : export et retour uniquement de digestat
- E3 : export et retour uniquement de fumier
- E4 : export sans retour de PRO
- R1 : restitué (CIPAN comme dans pratique agri, maïs grain et 75% de paille restituée pour le blé et le triticales) et retour de PRO
- R2 : restitué et retour de digestat
- R4 : restitué sans retour de PRO

Pratique agriculteur (cf. schéma) :



Lecture des graphiques :

Les courbes en trait plein correspondent aux scénarios « export », les courbes en pointillés correspondent au scénarios « restitué ».

Les scénarios comparables deux à deux ont des courbes de la même couleur.

Sans surprise, le scénario R1, avec restitution des cannes de maïs, culture de CIPAN et restitution des pailles des céréales 3 années sur 4, apport de 20m³ /ha de digestat et au moins 15T/ha de fumier par an permet de stocker le plus de carbone dans le profil de sol.

Plus largement, **tous les scénarios avec un apport significatif de fumier tous les ans permettent un stockage de carbone**. Les autres scénarios présentent un déstockage de carbone même dans le cas où les pailles et les CIPAN sont restitués.

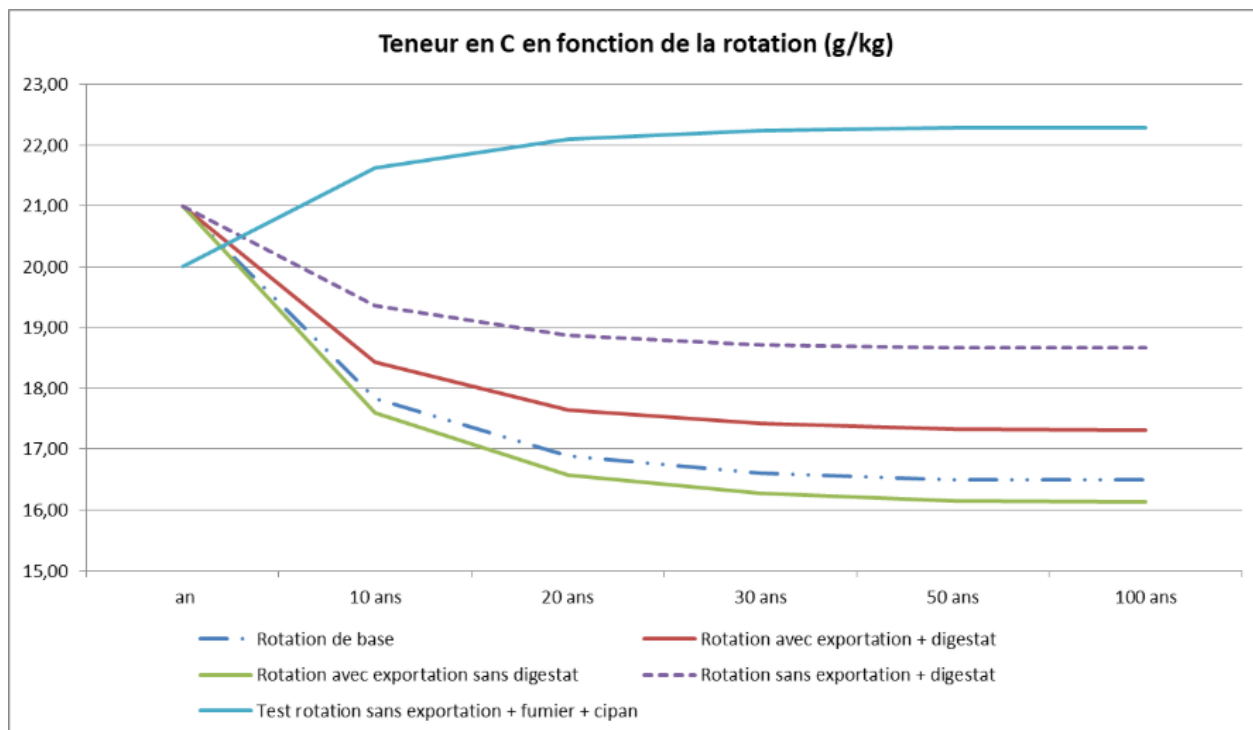
L'apport de digestat en plus du fumier permet de stocker davantage de carbone mais un apport de digestat seul ne permet pas un apport suffisant de matière organique stable pour stocker du Carbone supplémentaire dans cette situation.

Simulations pour la parcelle de Oberroedern (67)

Pour continuer dans cette réflexion, 5 scénarios ont été simulés dans une exploitation laitière d'outre-forêt. La parcelle est dans une rotation maïs ensilage (2ans)/blé (1 an) avec exportation des pailles et apport de digestat.

Scénarios simulés :

- Rotation de base (exportation + cipan)
- Rotation avec exportations + retours de digestats
- Rotation avec exportations , PAS de digestat
- Rotation sans exportations + retours de digestats
- Alternance maïs ensilage /maïs grain + fumier + CIPAN enfoui



Les résultats montrent également que l'apport de fumier a un effet beaucoup plus important qu'un apport de digestat sur la teneur en carbone des sols.

CONCLUSION

L'apport supplémentaire de digestats liquides permet une augmentation du stock et de la teneur en carbone dans les sols vis-à-vis d'une même situation, sans apport de digestat. Cependant, l'apport d'autres produits organiques comme le fumier permet une augmentation du stockage de carbone beaucoup plus importante. En effet, l'apport de matière organique par le fumier est beaucoup plus massif qu'avec les digestats, notamment avec la phase liquide de ce dernier.

Il est donc intéressant de varier les types d'apports et de restitutions dans les parcelles et de ne pas se limiter uniquement à un apport de digestat pour stocker du carbone dans le sol si l'on veut maintenir et enrichir la fertilité de ses sols.

Conclusion et résumé des recommandations

RÉSUMÉ DES RÉSULTATS

- **Tassement lié à l'épandage de digestats** : le risque d'impact peut être important selon les contextes (bio ou non) et les années (pluviométrie plus ou moins forte) ;
- Evolution de la **fertilité organo-biologique** sous l'effet des digestats :
 - Pas de tendances significatives dans les parcelles étudiées. Au bout de 5 à 10 ans, **le seul apport de digestat n'a pas d'impact visible**, par rapport à l'ensemble de la conduite de la parcelle.
 - Evolution dans le temps (jusqu'à 16 ans) : dans les systèmes étudiés, les fractions libres et stables des matières organiques du sol n'ont pas baissé. La taille de la population microbienne semble diminuer, mais d'autres facteurs pouvant en être à l'origine, il sera nécessaire de confirmer cette tendance dans quelques années.
- Bilan humique : avec les doses d'apport habituelles, les digestats permettent de **compenser en partie** l'exportation de biomasse. Mais seul l'apport régulier de fumier permet de stabiliser voir d'augmenter le stock de matières organiques du sol

MESSAGES À RETENIR POUR PRÉSERVER LA FERTILITÉ DES SOLS DANS VOS PARCELLES

- Toujours observer et vérifier la structure du sol pour s'assurer de son bon fonctionnement
- Observer en plusieurs points des parcelles pour tenir compte de l'hétérogénéité parcellaire
- Compléter l'apport de digestats par l'apport de MO fraîche (CIVE/pailles) ou d'autres amendements organiques pour limiter les déséquilibres
- Veiller aux équilibres entre les apports et les exports de MO dans TOUTES les parcelles



Décembre 2025



Pour l'agriculture de demain



Avec le soutien de :



Financé par :



Avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale développement agricole et rural CASDAR

