



HAL
open science

Caractérisation des Produits Résiduaire Organiques (PRO) (projet MétaMétha)

Victor Moinard, Antoine Savoie, Sabine Houot

► **To cite this version:**

Victor Moinard, Antoine Savoie, Sabine Houot. Caractérisation des Produits Résiduaire Organiques (PRO) (projet MétaMétha). [Contrat] INRAE. 2020, 11p. hal-03222082

HAL Id: hal-03222082

<https://hal.inrae.fr/hal-03222082v1>

Submitted on 10 May 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

MétaMéthà

B2-L2.2 : Caractérisation des PRO

Projet	MétaMéthà
Lot	B
Tâche ou sous-tâche	B.2
Livrable	L2.2 : Caractérisation des PRO
Date de remise	02/06/2020
Confidentiel	oui / non

Etude réalisée par : INRA centre Val de Loire, UE PAO

Partenaire responsable : UMR ECOSYS

Partenaire(s) impliqué(s) dans la rédaction du livrable : UMR ECOSYS, INRA UE PAO

Auteur : Victor Moinard, UMR ECOSYS

Financée par : *la région Centre Val de Loire*

Dans le cadre des appels à projets *d'intérêt régional*

Version 1.2 – mars 2020

Action B.2 : Présentation des Produits Résiduaux Organiques (PRO)

Le projet MétaMétha vise à comparer les caractéristiques des Produits Résiduaux Organiques (PRO) de deux types : des effluents animaux non transformés (fumier, lisier), ou digérés par méthanisation (digestats brut, liquide, et solide). Cinq PRO ont donc été caractérisés :

Le **fumier** est issu de l'élevage, en particulier bovin, du centre INRA de Nouzilly. Il est stocké en andain à l'air libre avant d'être épandu en agriculture. Il s'agit d'un PRO amendement, apporté en été sur les parcelles du projet MétaMétha.

Le **lisier** est issu de l'élevage, en particulier bovin, du centre INRA de Nouzilly. Il est stocké dans une fosse à lisier couverte. Il s'agit d'un PRO fertilisant, apporté en hiver sur les parcelles du projet MétaMétha.

Le digestat est issu du méthaniseur géré par l'entreprise CAP VERT BIOENERGIE, présente sur le centre INRA de Nouzilly. C'est un méthaniseur en voie humide mésophile, d'une capacité entrante de 12000t/an (régime ICPE : autorisation). Les intrants sont principalement des lisiers et des fumiers du centre INRA de Nouzilly (~30%), des boues de STEP (~25%), des effluents d'IAA (~20%), et divers autres déchets organiques (déchets verts, graisses, déchets de céréales, pulpes de betteraves, etc.). Les matières sont digérées 70 jours dans le méthaniseur et 28 jours dans le post digesteurs. Le digestat subit une séparation de phase (presse à vis). Le projet MétaMétha étudie trois formes de digestat.

Le **digestat brut** est obtenu en sortie de post réacteur, il n'est pas stocké. Il est épandu en tant qu'amendement (été) et fertilisant (hiver).

Le **digestat solide** est stocké en andain sur la plateforme de méthanisation. Il s'agit d'un PRO amendement, apporté en été sur les parcelles du projet MétaMétha.

Le **digestat liquide** est stocké dans une fosse non couverte. Il s'agit d'un PRO fertilisant, apporté en hiver sur les parcelles du projet MétaMétha.

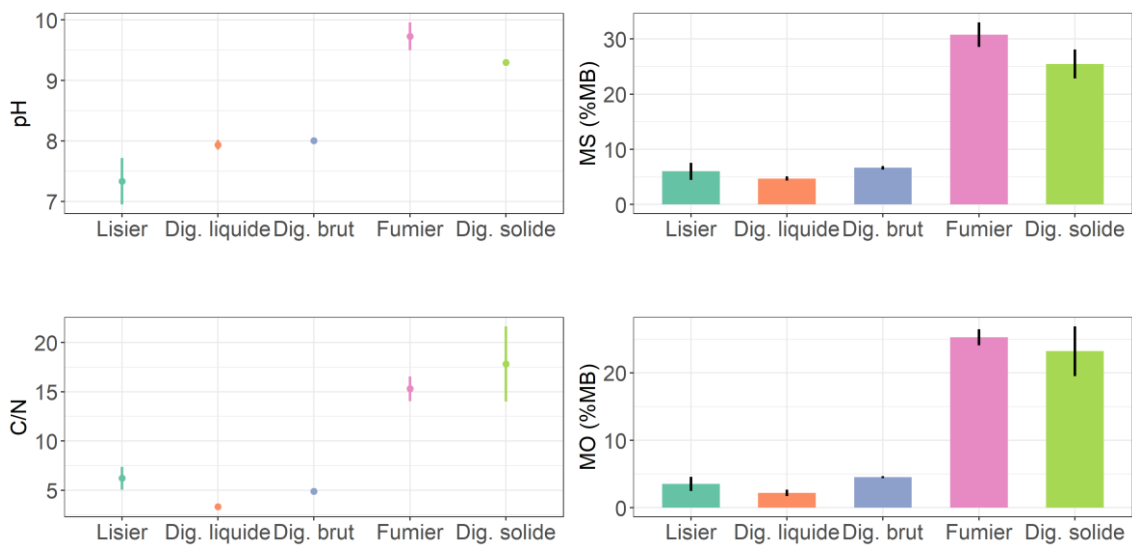
B2.1 Analyses physico-chimiques

Dans le cadre du projet MétaMétha, les PRO ont été analysés en laboratoire d'analyse deux fois par campagne d'épandage, sur trois ans. Ces analyses de routine couvrent les caractéristiques physico-chimiques des PRO. Le nombre d'analyses est résumé dans le tableau ci-dessous.

PRO	Nombre d'analyses
Fumier	3
Digestat solide	3
Digestat brut	10
Digestat liquide	5
Lisier	7

Tableau 1 - Nombre d'analyses réalisées pour chaque PRO

Les principales caractéristiques sont présentées dans les figures suivantes (Figure 1).



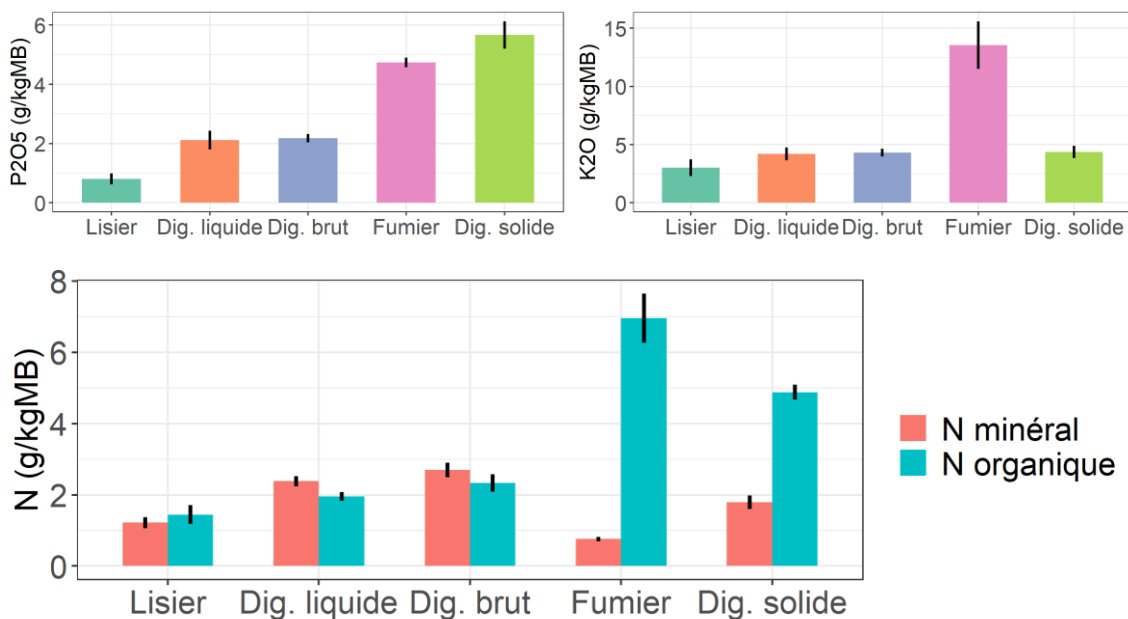


Figure 1 - Analyse physico-chimiques des PRO étudiés dans le projet MétaMéth. Les barres d'erreur représentent une erreur standard. MS : matière sèche. MB : matière brut. MO : matière organique. K2O : potasse. P2O5 : phosphate. N : azote

Les PRO peuvent être classés en deux catégories : liquide (digestat brut, digestat liquide, et lisier), et solide (digestat solide et fumier).

Les PRO solides ont une teneur en matière sèche élevée, des pH très basiques, et des C/N très forts (richesse en carbone). Le digestat solide se distingue du fumier en étant légèrement plus riche en phosphore et en azote minérale et beaucoup plus pauvre en potasse.

Les PRO liquides sont également basiques, avec des C/N plus faibles (richesse en azote) et des teneurs en matière sèche plus faibles. Le lisier est moins basique que les digestat, il contient également moins de matière organique et moins d'éléments fertilisants (par rapport à la masse fraîche de produit). Le digestat liquide est assez similaire au digestat brut, il contient légèrement moins d'azote et de matière organique.

B2.2 Analyses des contaminants organiques et inorganiques

Plusieurs familles de contaminants ont été recherchées dans les PRO : les polychlorobiphényl (PCB, 6 molécules), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP, 13 molécules), les Nonylphenols (3 molécules, dont une seule présente : NP1EO), et les éléments traces métalliques (ETM). Aucune trace de PCB n'a été détectée sur les digestats solide, et liquide et sur les fumiers bovin (une seule analyse). Les résultats des concentrations des autres contaminants sont montrés dans les tableaux ci-dessous.

Contaminants organiques des PRO			
PRO	Σ 13 HAP (µg/kg MS)	Nonylphenol NP1EO (mg/kg MS)	PCB
Digestat Brut	762	6,3	Non détecté
Digestat solide	507	4,8	Non détecté

Digestat liquide	741	2,4	Non détecté
Fumier	29	0,8	Non détecté
Lisier	191	49,0	Non détecté
Norme DigAgri <u>Σ 16 HAP</u>	6000		
Norme Amendant organique <u>Σ 3 HAP</u>	8000		
Normes Boues de STEP <u>Σ 3 HAP</u>	9500		

Tableau 2 - Analyses des contaminants organiques dans les PRO

ETM présents dans les PRO (mg/kg MS)						
Nature des échantillons	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Cd
Digestat brut	701	266	34	23	16	1,0
Digestat solide	178	64	14	8	5	0,1
Digestat liquide	663	249	59	22	21	1,0
Fumier	83	22	3	1	2	0,0
Lisier	180	36	2	2	2	0,0
Norme Amendant organique	600	300	120	180	60	3
Norme DigAgri	1000	600	120	180	60	1.5
Normes Boues de STEP	3000	1000	1000	800	200	10

Tableau 3 - Analyses des Éléments Traces Métalliques dans les PRO

Parmi les contaminants analysés, les digestats sont plus riches en HAP et en métaux que les effluents non digérés. Ces contaminants pourraient venir des autres déchets apportés dans le méthaniseur. Les HAP se retrouvent dans les deux fractions du digestat, à l'inverse des ETM qui ont plutôt tendance à se retrouver dans la phase liquide.

Par comparaison, Patureau et al. (2013) ont reviewé que les teneurs en Nonylphénol de boues de STEP étaient souvent comprises entre 10 et 100 mg/kg MS. Les HAP sont compris entre 1000 et 10000 µg/kg MS dans les boues, et souvent non détectés dans les effluents d'élevage. Les valeurs seuil des documents officiels suivants sont indiquées comme référence : la norme « Amendant organique » (NFU 44-051), le cahier des charge « Digestats de méthanisation agricole » DigAgri 3 (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation), et l'arrêté du 8 janvier 1998 « épandages de boues de STEP ». Les teneurs en HAP et ETM des digestats sont situées sous les seuils de la norme DigAgri 3.

B2.3 Minéralisation de la matière organique des PRO

Une caractéristique agronomique essentielle des PRO est leur cinétique de minéralisation, c'est-à-dire comment la matière organique des PRO est dégradée. Du point de vue du cycle du carbone, plus une matière se minéralise vite, moins elle est stable et moins elle enrichit le

sol en MO. Du point de vue du cycle de l'azote, la minéralisation de la matière organique peut libérer de l'azote minérale consommable par les plantes, ou alors immobiliser (=consommer) l'azote du sol. Ces dynamiques sont étudiées à l'aide d'incubations en laboratoire. Les incubations des cinq PRO ont été analysées.

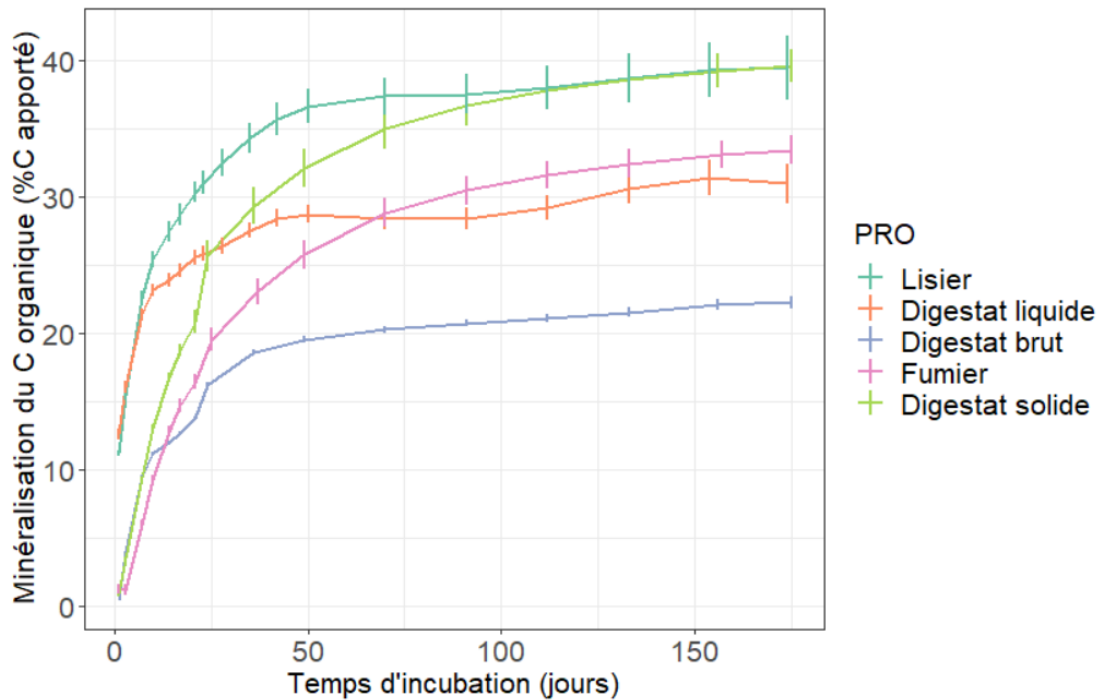


Figure 2 - Minéralisation du C des PRO en conditions contrôlées

Lors du suivi de la minéralisation du carbone, plus un PRO dégage de CO₂, plus il se minéralise vite et plus sa fraction de carbone stable est faible, donc moins il participe à l'enrichissement en matière organique du sol (MOS). Au niveau des PRO solides, en 175 jours, 33% du fumier s'est dégradé, contre 40% du digestat solide : le fumier est plus stable et plus amendant que le digestat solide.

Les PRO liquides (lisiers et digestats liquides) se minéralisent très vite. La fraction de carbone stable est similaire à celle des PRO solides, mais le digestat liquide est plus stable que le lisier. Il est possible qu'une partie du dégagement de CO₂ ne soit pas due à une minéralisation, mais à un dégagement de CO₂ dissous. Si cette hypothèse est correcte, les liquides auraient une fraction de carbone stable plus forte que les solides.

Le digestat brut se minéralise lentement, il est constitué de carbone stable. Seul 20% du carbone s'est minéralisé en 175 jours. Néanmoins, il devrait se situer entre le digestat liquide et le digestat solide. Une hypothèse à ce résultat est que la minéralisation des PRO liquides est surévaluée (cf. ci-dessus).

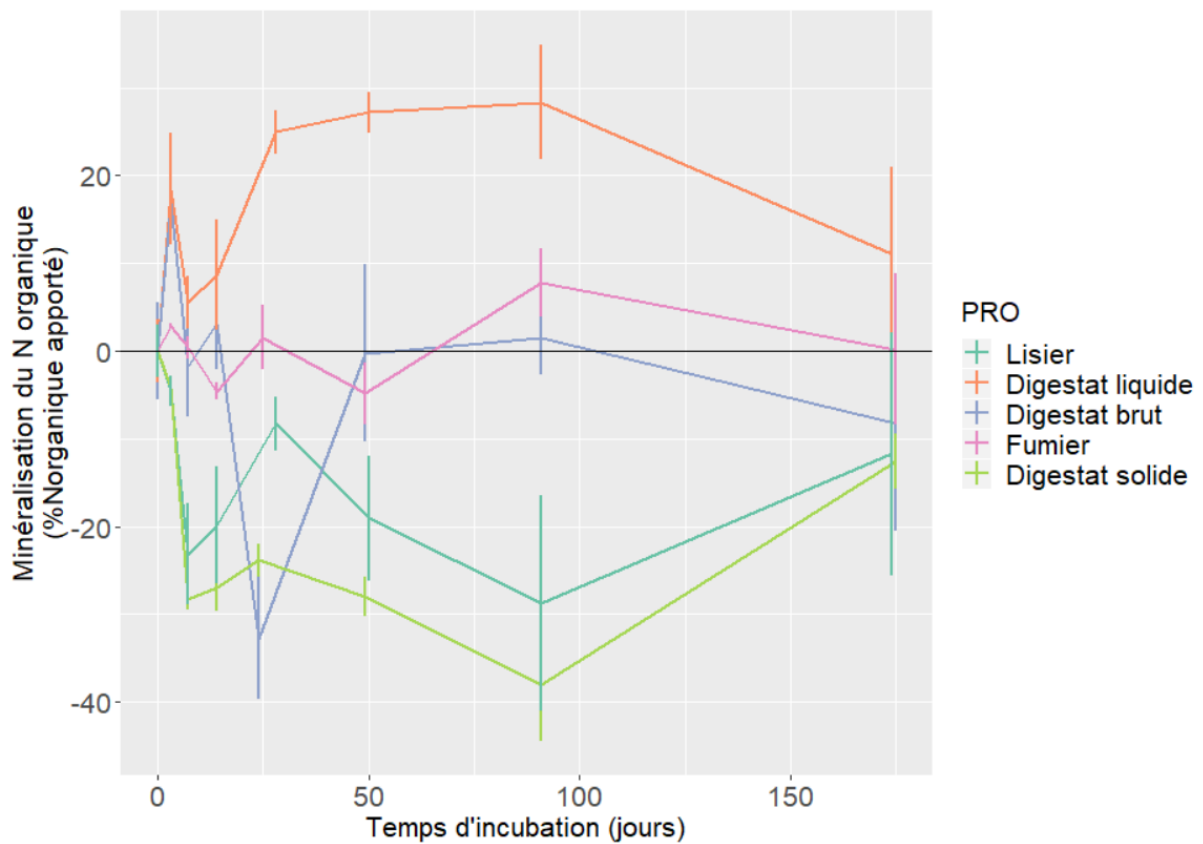


Figure 3 – Suivre de la minéralisation de l'azote organique des PRO lors d'incubations en conditions contrôlées

On s'intéresse ici à la libération de **l'azote organique** des PRO. La minéralisation du fumier ne libère pas d'azote dans le sol (la minéralisation avoisine 0% de l'azote organique apporté). Le digestat solide, tout comme le lisier, consomme de l'azote du sol (minéralisation négative, ou immobilisation), lors des 10 premiers jours de l'incubation. Le digestat liquide fournit de l'azote minéral au sol lors de sa minéralisation. Pour le digestat brut, on observe un pic d'immobilisation vers J25, mais à long terme le bilan de minéralisation ou d'immobilisation d'azote est neutre.

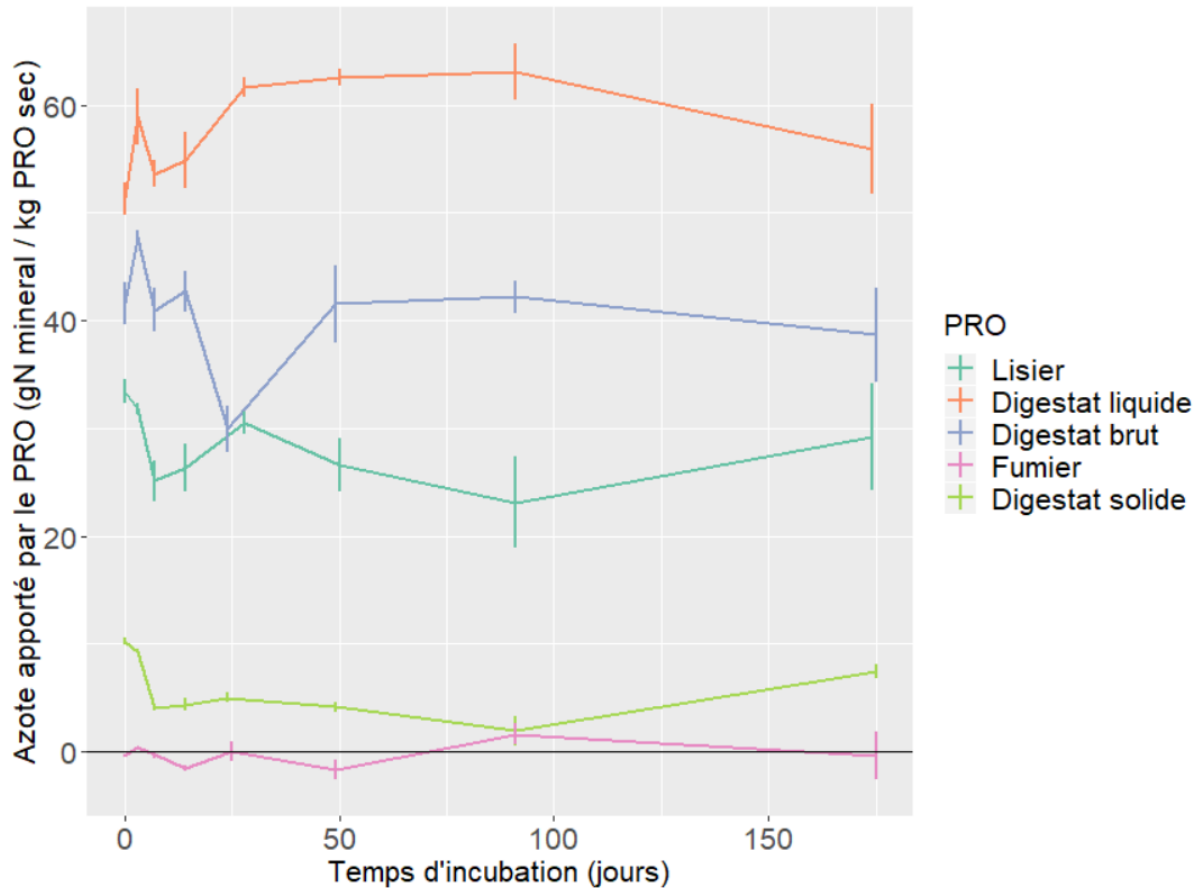


Figure 4 – Suivre de fourniture en azote minérale des PRO lors d'incubations en conditions contrôlées

Pour prendre en compte l'apport **d'azote minéral** par les PRO, nous avons calculé la quantité d'azote minéral (disponible pour les plantes) dans les flacons d'incubations. Le fumier n'apporte que peu d'azote minéral, et ne libère pas d'azote organique : il n'a pas le rôle de fertilisant azoté à court terme. Le digestat solide apporte une quantité plus forte d'azote minéral à court terme, qui est en partie immobilisé lors de la minéralisation de la matière organique. Le bilan d'apport d'azote minéral pour le digestat solide reste positif.

Les digestats brut et liquide ainsi que le lisier contiennent beaucoup d'azote minéral. Ils possèdent une valeur fertilisante à court terme élevée, légèrement impactée positivement (digestat liquide) ou négativement (lisier) à long terme. Ce sont des PRO avec une valeur fertilisante élevée, les digestats étant encore plus fertilisants que les lisiers. On voit également l'irrégularité de la fourniture en azote du sol, en particulier pour le digestat brut, qui montre pourquoi la fertilisation organique est moins facilement contrôlable que la fertilisation minérale.

B2.4 Stabilité de la matière organique : ISMO

L'Indice de la Stabilité de la Matière Organique (ISMO) est une analyse liée au fractionnement Van Soest des PRO (Norme XP U44-162). L'ISMO d'un PRO représente la proportion de la MO apportée qui va contribuer à l'entretien des stocks de C dans les sols. Il est donc exprimé en pourcentage de la matière organique du PRO. Plus un PRO aura un ISMO élevé, plus épandre ce PRO participera au stockage de la matière organique du sol. L'ISMO des PRO a été déterminé dans le projet MétaMétha.

PRO	C résiduel incubation (%Corg)	ISMO (%Corg)
Digestat Brut	77,7 ± 0,4	59,7 ± 3,5
Digestat solide	60,4 ± 1,2	58,0 ± 1,1
Digestat liquide	69,0 ± 1,5	72,6 ± 2,4
Fumier	66,5 ± 1,0	67,0 ± 0,3
Lisier	60,5 ± 2,3	56,0 ± 0,7

Tableau 4 - Stabilité du carbone des différents PRO

Les deux indicateurs de stabilité de la matière organique (ISMO et taux de carbone résiduel) sont cohérents, exceptés pour le digestat brut. Tous les PRO ont in fine une stabilité environ similaire. Chez les PRO non digérés, le liquide (lisier) est moins stable que le solide (fumier), il s'agit de l'inverse chez les digestats.

Ce pourcentage de carbone stable exprimé en fraction du carbone total nous renseigne sur la nature du carbone de chaque PRO. Mais, pour connaître les apports totaux de MO stable au champ, il faut tenir compte de la richesse des PRO en MO. Plus on apporte de MO stable en valeur absolue sur une parcelle, plus on peut augmenter durablement la MO sol. Ainsi, les PRO solides, très riches en MO (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), participent plus à l'amendement du sol que les PRO liquides. Leur valeur amendante est plus forte.

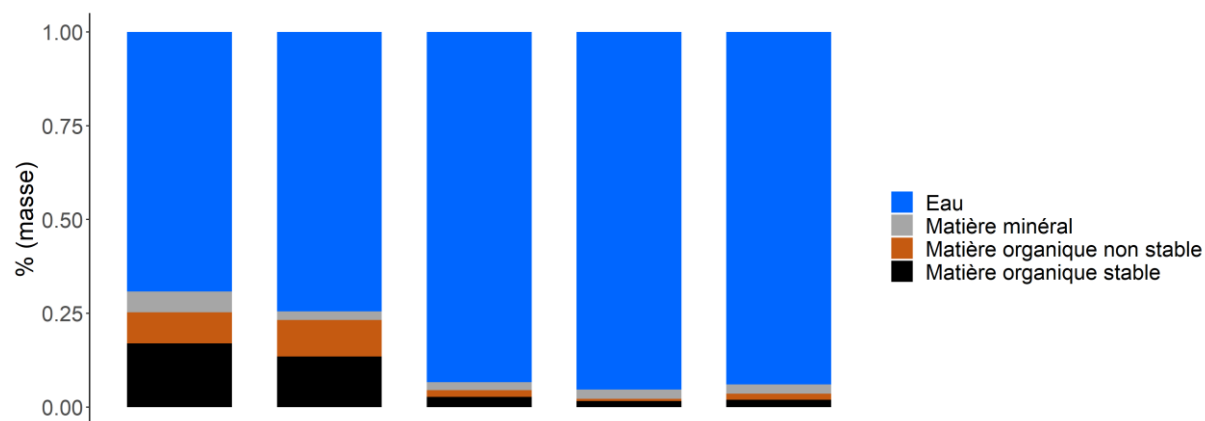


Figure 5 – Composition et valeur amendante des PRO

A l'aide de ces indicateurs de stabilité, un modèle de carbone du sol, AMG, a été paramétré (Saffih-Hdadi et Mary, 2008). Il nous a permis de simuler l'augmentation de la matière organique d'un sol type de Nouzilly, sous un climat de cette région, selon plusieurs scénarios). Tous les scénarios simulent une rotation Colza-blé-blé, avec des fertilisations différentes :

- Un scénario témoin sans apport de matière organique et export des pailles.
- Un scénario témoin sans apport de matière organique et restitution des pailles.
- 25t/ha de fumier devant colza, 20t/ha de lisier une fois sur colza et deux fois par an sur blé. Les pailles sont exportées.
- 25t/ha de digestat brut devant colza, 20t/ha de digestat brut une fois sur colza et deux fois par an sur blé. Les pailles sont exportées.
- 25t/ha de digestat solide devant colza, plus 20t/ha de digestat liquide une fois sur colza et deux fois par an sur blé. Les pailles sont exportées.

Les résultats de la simulation sont indiqués sur la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Les apports de PRO permettent une augmentation de la matière organique du sol plus forte que la restitution des pailles. Ce résultat est connu, mais permet d'illustrer l'efficacité des PRO. Les digestats sont un peu moins amendants que les effluents bovins. Le scénario « digestat brut » est encore plus faible, mais cela est plutôt dû aux quantités de PRO apportées sur cette parcelle que d'un changement de caractéristiques dû à la séparation de phase. Un bilan à l'échelle de l'exploitation des deux scénarios « Digestats » devraient donner des résultats similaires.

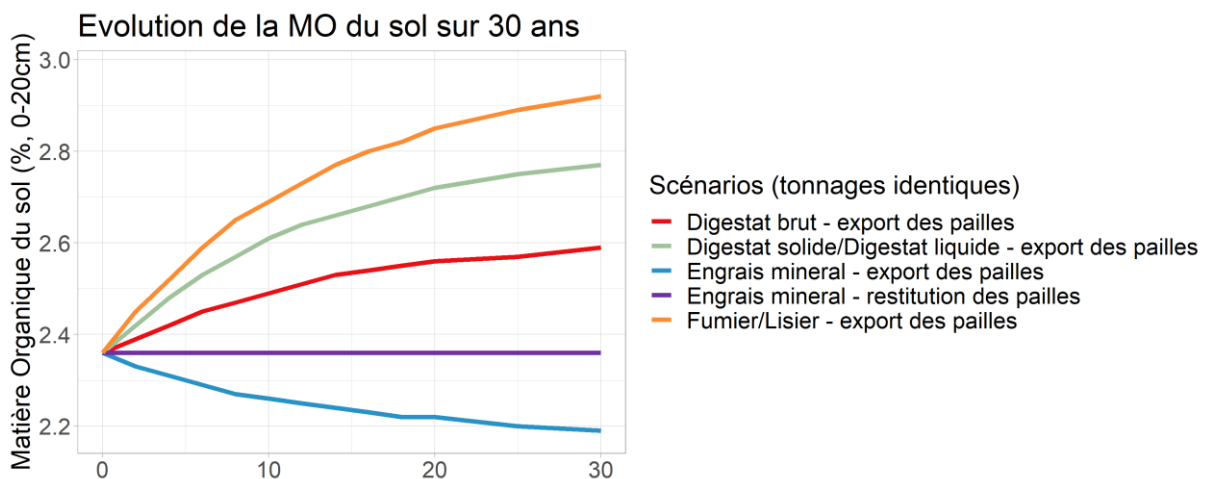


Figure 6 - Modélisation AMG du carbone du sol : simulation sur 30 ans selon différents scénarios

B2.5 Discussion et conclusion

Ces résultats vont dans le sens de la littérature : les PRO solides apportent plus de matières organiques et peuvent apporter plus de phosphore et de potasse. Les PRO liquides sont plus riches en azote minéral. La digestion des effluents bovins avec d'autres matières donne un PRO liquide plus fertilisant, et un PRO solide un peu plus fertilisant et un peu moins amendant.

B2.6 Références

Patureau, D., Luneau, M., Delgenes, N., Houot, S., Deschamps, M., Leang, S., n.d. Evaluation des flux de micropolluants prioritaires et émergents sur les sols via les apports de produits résiduels organiques : efficacité des procédés de traitement et impact potentiel sur les plantes et les écosystèmes aquatiques 96.

Saffih-Hdadi, K., Mary, B., 2008. Modeling consequences of straw residues export on soil organic carbon. *Soil Biology and Biochemistry* 40, 594–607.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.08.022>