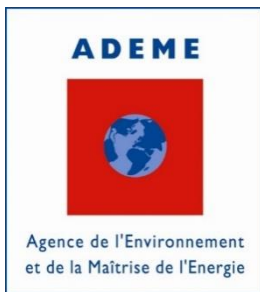


PROJET MÉTHAPOLSOL

Impacts de l'introduction de méthaniseurs dans un territoire sur les stratégies de fertilisation des cultures et leurs conséquences sur les dynamiques du carbone et de l'azote dans les sols : cas de la plaine de Versailles

C Launay^{*1,2}, M Crépeau¹, R Girault³, F Levavasseur¹, S Houot¹



¹ INRAE, UMR EcoSys, Thiverval-Grignon

² INRAE, UMR AGIR, Castanet-Tolosan

³ INRAE, UR OPAALE, Rennes

en partenariat avec

Contexte



La méthanisation induit des changements dans les systèmes de culture :

- Modification de la fertilisation
- Mobilisation des résidus de culture
- Modification de la séquence de culture pour introduire des CIVEs

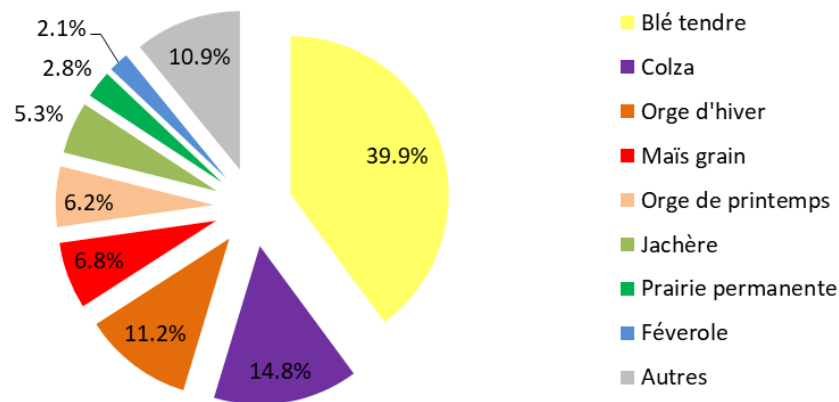


Modification des flux de carbone et d'azote

Contexte

La plaine de Versailles

- 23 200 ha dont 57 % de surface agricole
- Zone périurbaine
- Les pratiques agricoles du territoire sont bien connues grâce à des enquêtes



Assolement moyen du territoire 2015-2017 (source RPG)

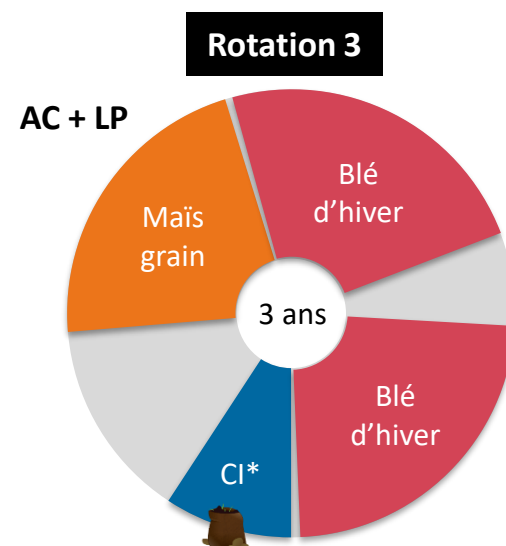
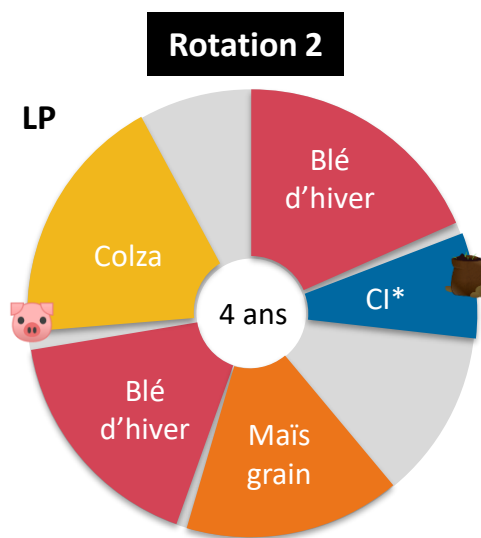
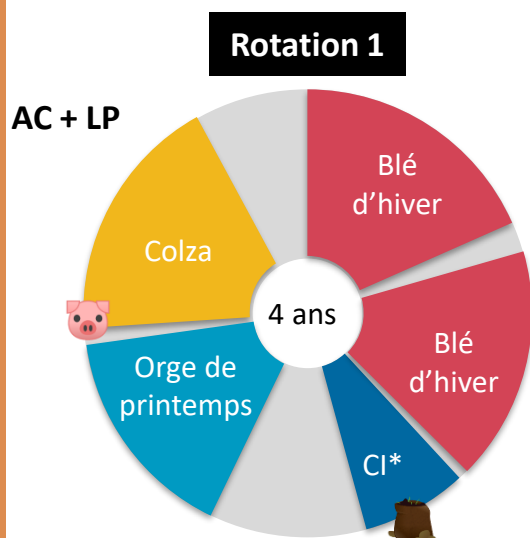
Ressources de matière organique :

- Compost de déchets verts
- Fumier de cheval
- Fumier et lisier bovin (**d'un seul gros élevage**)
- Boues de station d'épuration
- Lisier de porc composté i.e. Humival (importé)
- Déchets alimentaires non mobilisés

Contexte

Rotations

- Deux types de sol principaux : argilo-calcaire (**AC**) et limoneux profond (**LP**)
- Stock de carbone organique faible : 44,9 t C/ha (AC) et 43,5 t C/ha (LP)
- + de 50% de la SAU reçoit de la fertilisation organique, y compris chez les céréaliers



*CI : culture intermédiaire



Humival i.e. compost de lisier de porc

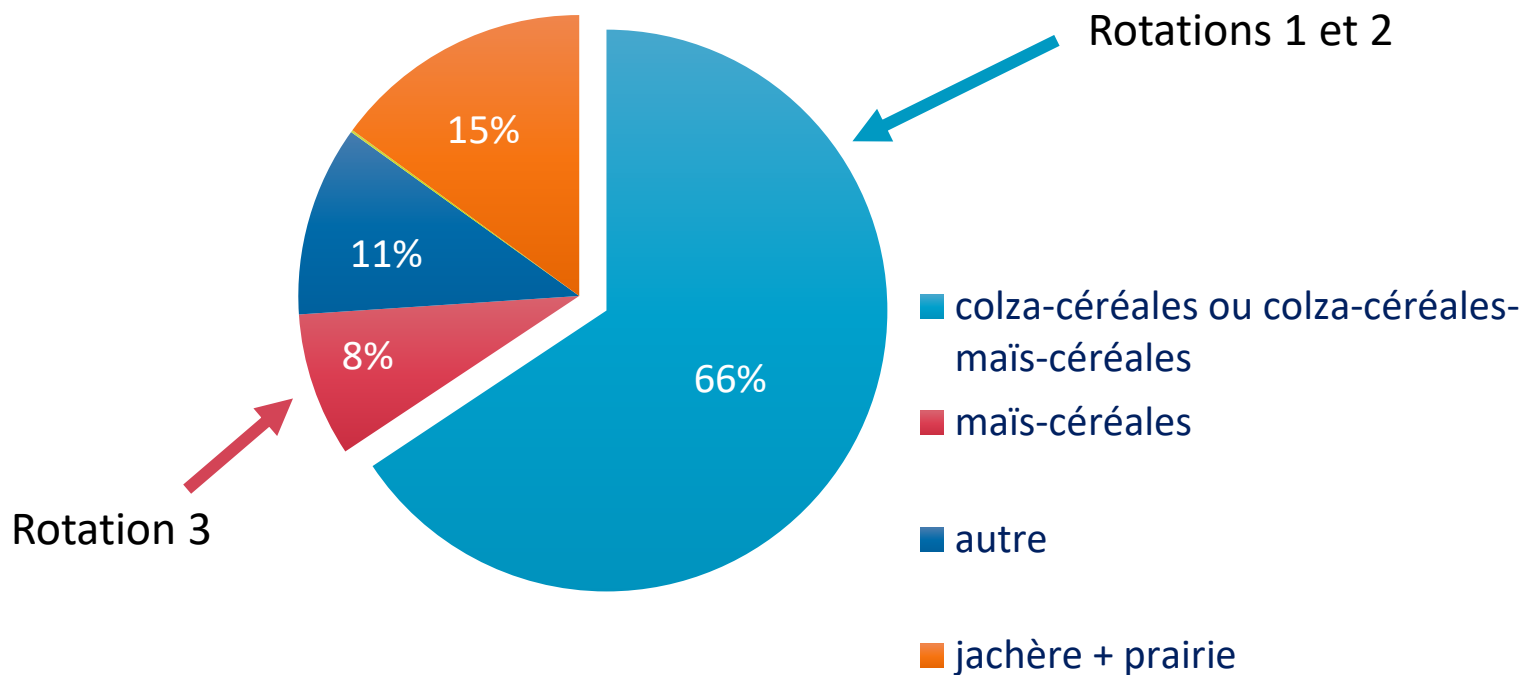


Compost de déchets verts

Contexte

Rotations

Surface des rotations dans la SAU



Problématique

Plusieurs projets d'installation d'unités de méthanisation sur le territoire :

- Un basé sur les élevages qui utiliserait les effluents de bovins et de chevaux
- Un pour traiter les déchets alimentaires (biodéchets)
- Un potentiel supplémentaire basé sur les élevages et les cultures intermédiaires



Modifications des systèmes de culture



Quelles sont les conséquences sur les flux de carbone (C) et d'azote (N), à l'échelle de la parcelle, du développement des nouvelles pratiques liées à la méthanisation ?

Absorption d'N

Lixiviation

Volatilisation de NH_3

Stockage de C

Emissions de N_2O

Simulations



Ressources de matière organique du territoire

Modèle de digestion anaérobie¹ + séparation de phase

Caractéristiques des digestats

Modèle de décomposition du C et de l'N dans le sol

Minéralisation du C et de l'N des digestats dans le sol

Systèmes de culture

Conditions pédoclimatiques

Modèle des dynamiques du C et de l'N dans le système sol-plante-atmosphère

Emissions de NH₃ et N₂O et lixiviation

Stockage de C






Simulations pendant 30 ans

Biomasse de CIVE

¹ Bareha, Y. (2018). *Modélisation des processus de transformation de l'azote en digestion anaérobie : application à l'optimisation de la valorisation des digestats*. Retrieved from <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02115249/>

Simulations

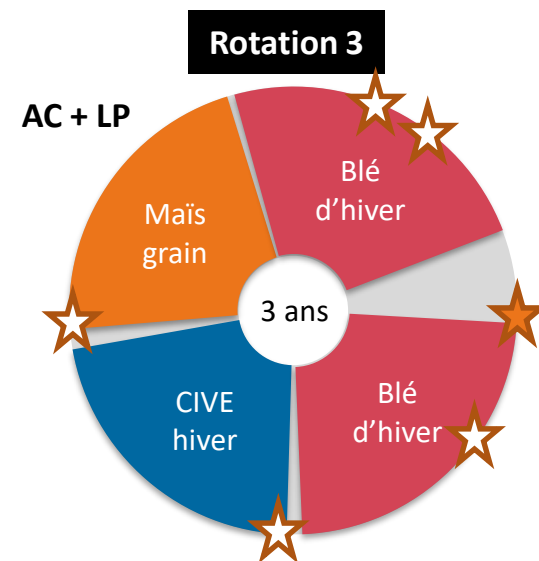
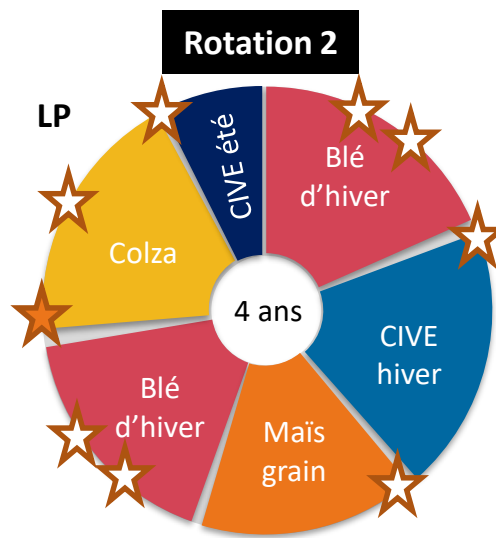
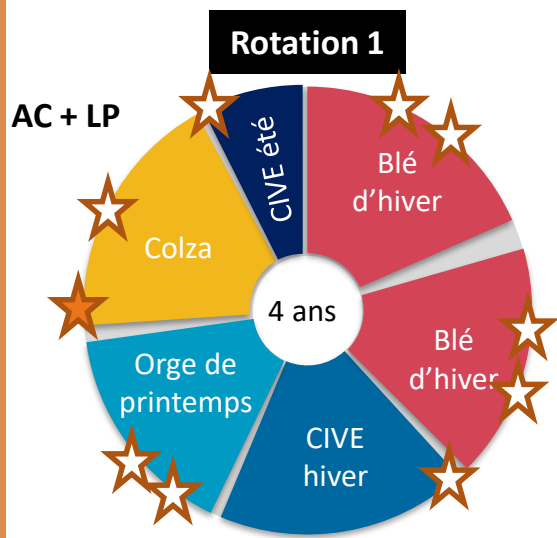
Scénarios

| | Scénario | Fertilisation minérale* | Fertilisation organique | Culture intermédiaire |
|--|--|-------------------------|--|---|
|  | Contrôle | 100% | 0 | Moutarde en hiver, incorporée |
|  | Systèmes actuels | 58% du contrôle | humival + compost de déchets verts | Moutarde en hiver, incorporée |
|  | Méthaniseurs de biodéchets | 19% du contrôle | Digestat de biodéchets | Moutarde en hiver, incorporée |
|  | Méthaniseur à la ferme | 6% du contrôle | Digestat des effluents d'élevage de la ferme + fumier cheval | Moutarde en hiver, incorporée |
|  | Méthaniseur agricole qui mobilise des CIVEs | 21% du contrôle | Digestat des effluents d'élevage de la ferme + fumier cheval + CIVEs | Maïs en été, ray-grass ou féverole en hiver, récoltés |

*On substitue la plupart des engrais minéraux en se limitant à 170 kg/ha d'N d'origine organique sans contrainte sur la ressource. On prend en compte l'augmentation de la matière organique des sols dans l'ajustement de la fertilisation avec un objectif de rendement constant.

Simulations

Rotations avec méthanisation agricole



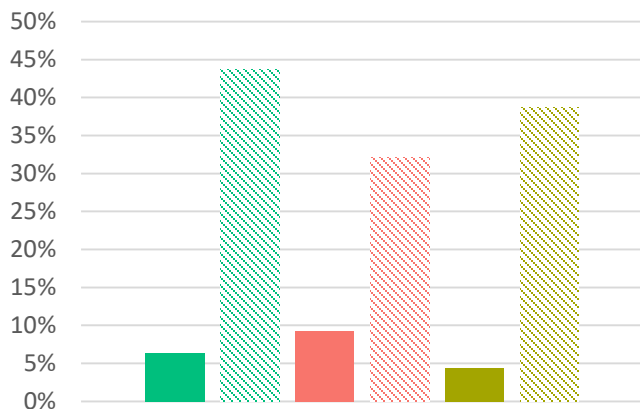
Digestat
solide



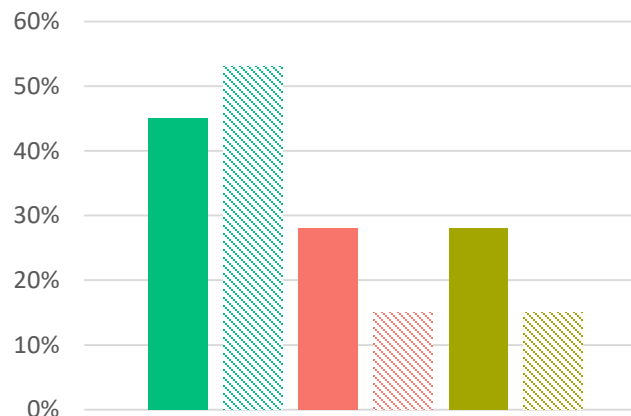
Digestat
liquide

Caractéristiques des digestats

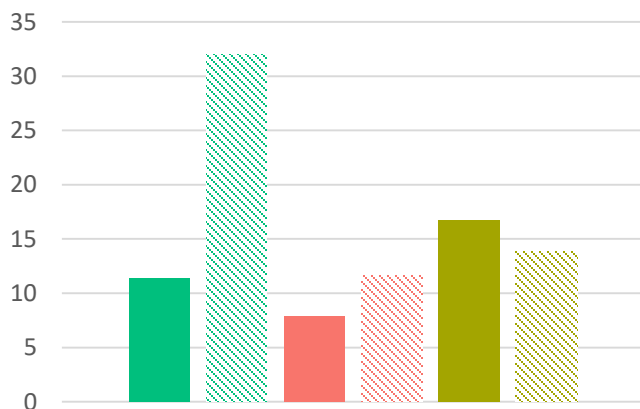
Teneur en matière sèche



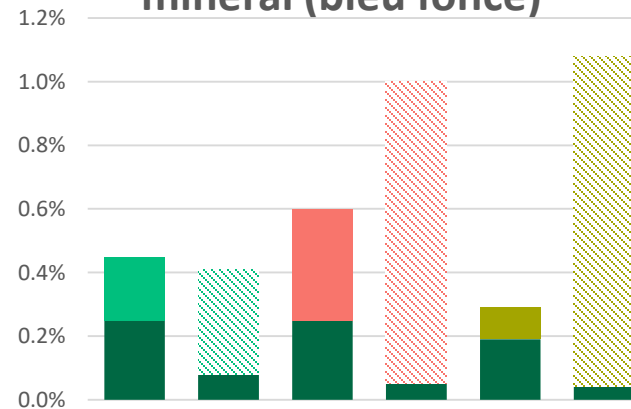
Fraction stable de C organique



C/N organique

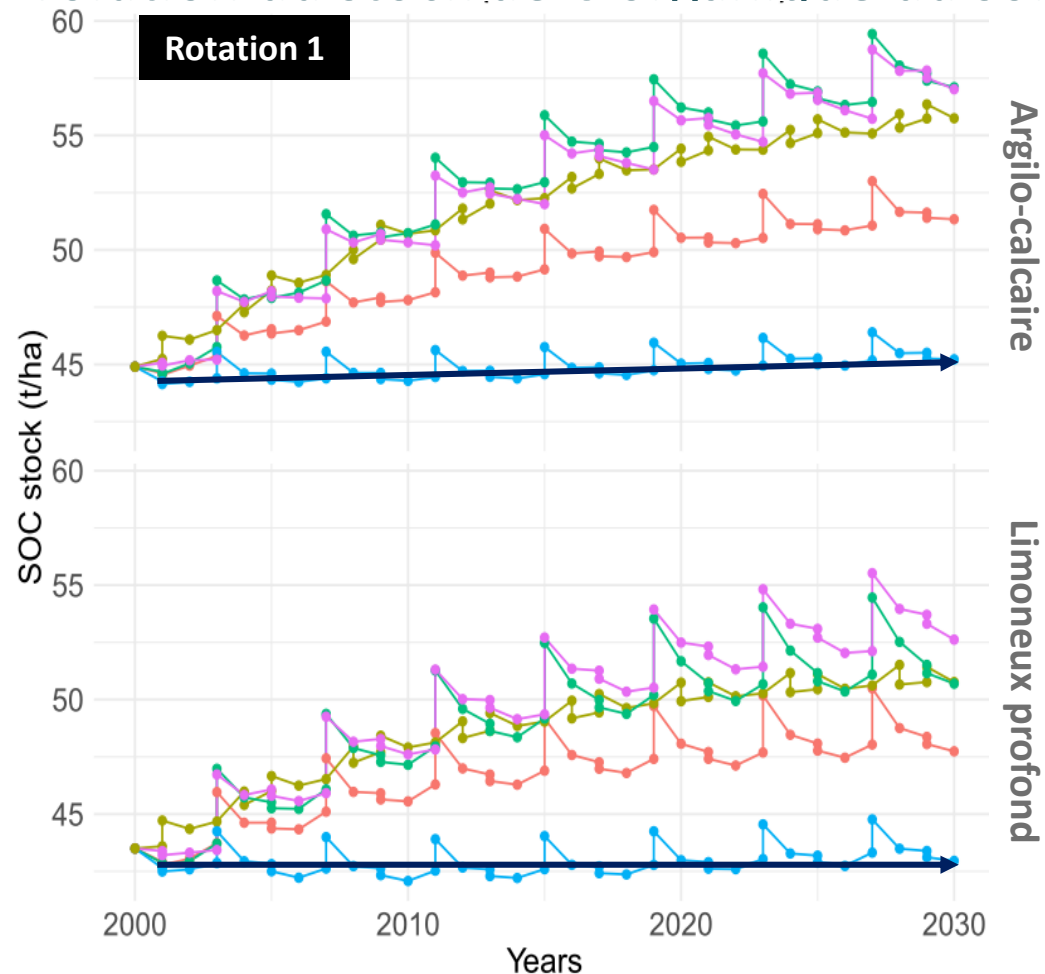


Teneurs en N organique et minéral (bleu foncé)



Résultats

Evolution du stock de C organique du sol



Stock de C stable au cours du temps dans le scénario fertilisation minérale.

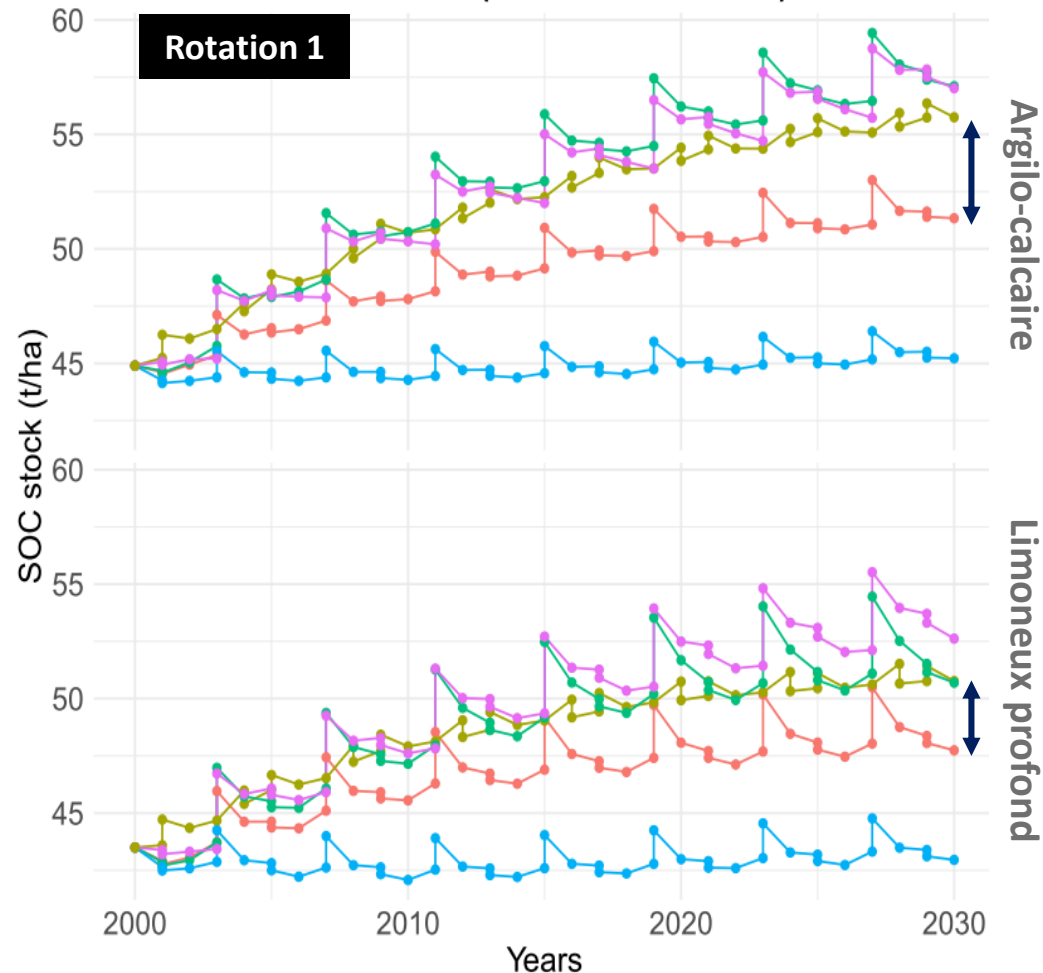
Stockage de C dans tous les scénarios avec PRO
 $[+0,1; +0,5]$ t C/ha/an
 ➤ Augmentation des entrées de C $[+16; +41]$ %

Scénario



Résultats

Evolution du stock de C organique du sol



Le stockage de C des digestats dépend de la quantité de C apportée (raisonnée par l'N) et de la stabilité du C apporté.

L'introduction de CIVE dans le système augmente le stockage de 0,1 à 0,2 t C/ha/an

➤ + de C apporté par les racines et + de C apporté par le digestat

Scénario



Résultats

Les PRO tendent à
augmenter la lixiviation
[+19;+86]%

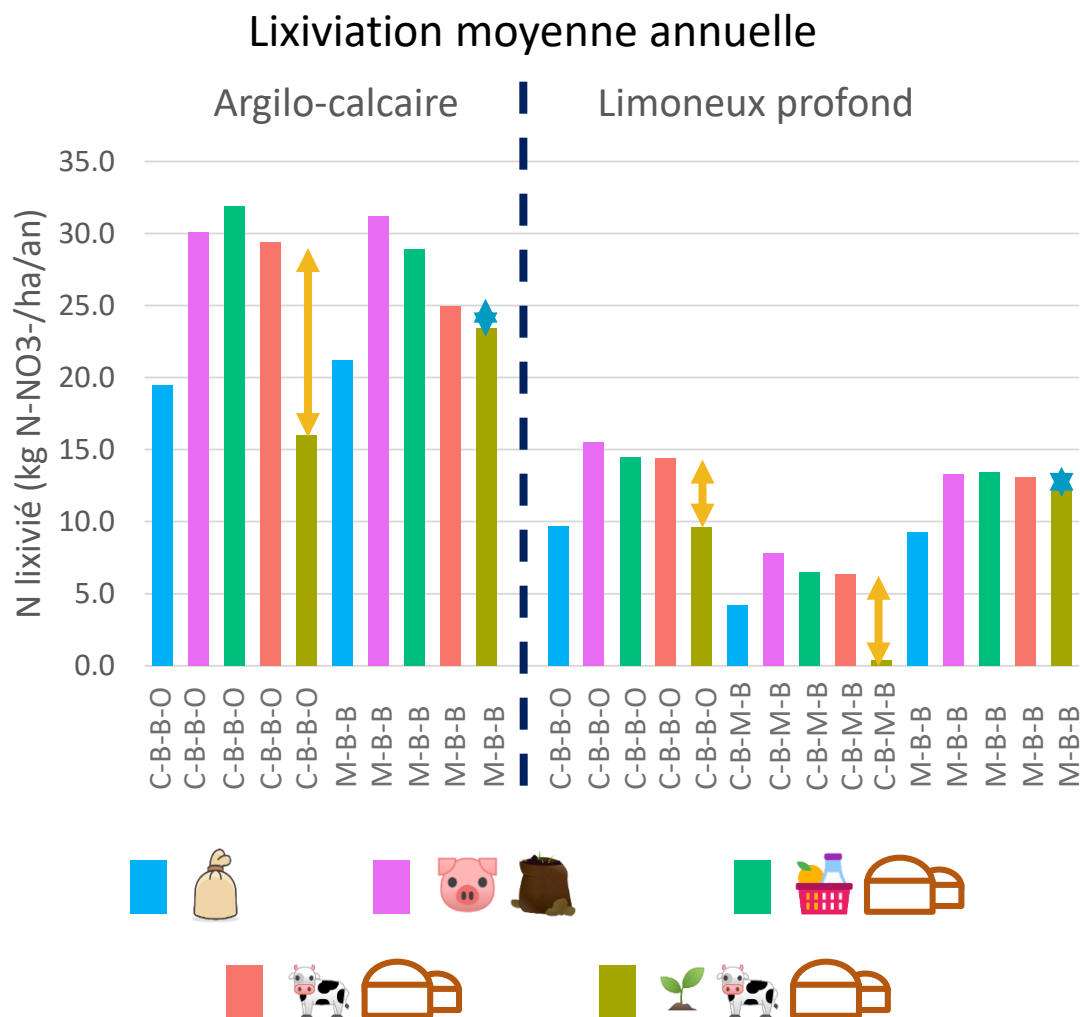
- ### Lixiviation moyenne annuelle
- Argilo-calcaire Limoneux profond
- N lixivié (kg N-NO₃-/ha/an)
-
- | Soil Type | Scenario | N lixivié (kg N-NO ₃ -/ha/an) |
|------------------|----------|--|
| Argilo-calcaire | C-B-B-O | 19.5 |
| | C-B-B-O | 30.0 |
| | C-B-B-O | 32.0 |
| | C-B-B-O | 29.5 |
| | C-B-B-O | 16.0 |
| | M-B-B | 21.5 |
| | M-B-B | 31.0 |
| | M-B-B | 29.0 |
| | M-B-B | 25.0 |
| | M-B-B | 23.5 |
| Limoneux profond | C-B-B-O | 10.0 |
| | C-B-B-O | 15.5 |
| | C-B-B-O | 14.5 |
| | C-B-B-O | 14.5 |
| | C-B-B-O | 9.5 |
| | C-B-M-B | 4.5 |
| | C-B-M-B | 8.0 |
| | C-B-M-B | 6.5 |
| | C-B-M-B | 6.5 |
| | C-B-M-B | 0.5 |
| | M-B-B | 9.5 |
| | M-B-B | 13.5 |
| | M-B-B | 13.5 |
| | M-B-B | 13.0 |
| | M-B-B | 12.5 |
- Legend:
- C-B-B-O: Blue bar, cow icon, bag icon
 - C-B-B-O: Pink bar, pig icon, bag icon
 - C-B-B-O: Green bar, basket icon, bag icon
 - C-B-B-O: Red bar, cow icon, bag icon
 - C-B-B-O: Yellow bar, plant icon, cow icon, bag icon

Résultats

Lixiviation de nitrate

Les CIVE réduisent la lixiviation en comparaison aux CIPAN [-6;-95]%

- Les **CIVE d'été** réduisent la lixiviation sous le blé d'hiver suivant
- Les **CIVE d'hiver** ne sont pas beaucoup plus efficaces que les CI classiques

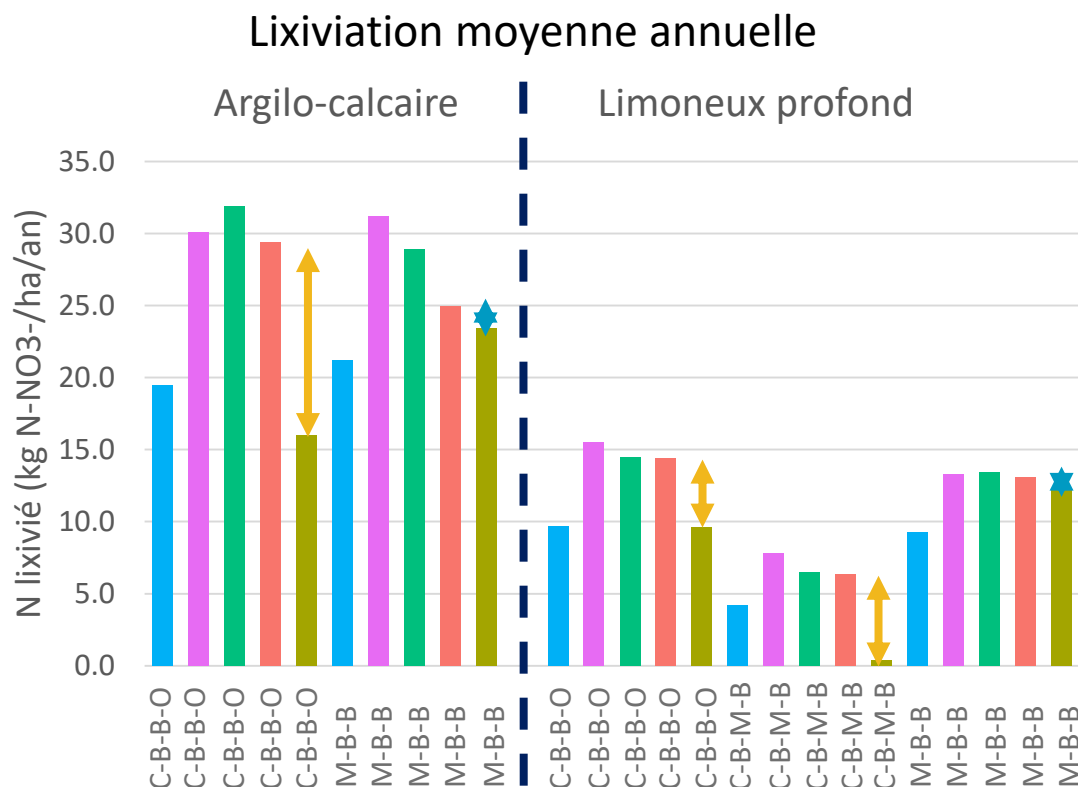


Résultats

Lixiviation de nitrate

Les CIVE réduisent la lixiviation en comparaison aux CIPAN [-6;-95]%

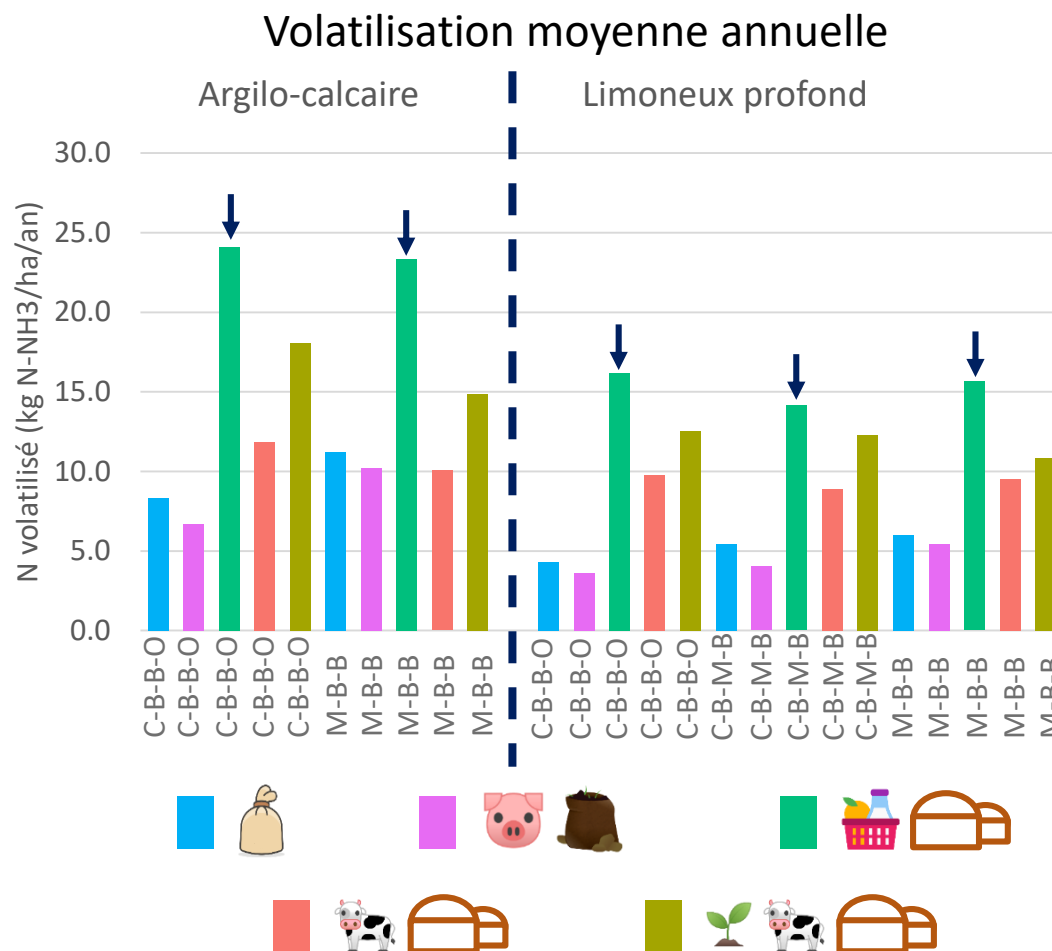
- Les **CIVE d'été** réduisent la lixiviation sous le blé d'hiver suivant
- Les **CIVE d'hiver** ne sont pas beaucoup plus efficaces que les CI classiques



La lixiviation représente jusqu'à **17%** de perte d'N total apporté par les digestats, les CIVE d'été peuvent réduire ce pourcentage à **0,2%**

Résultats

Pertes gazeuses d'N (NH_3)



+ de volatilisation sur le sol argilo-calcaire à cause du pH plus élevé

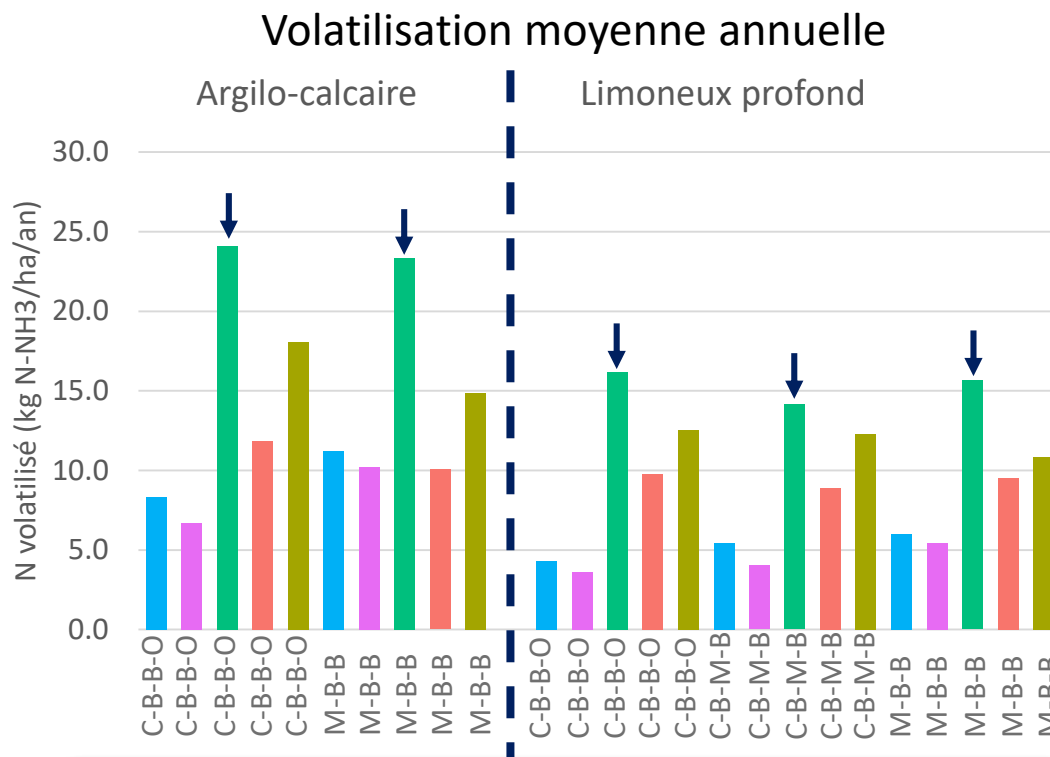
Les apports de digestat augmentent la volatilisation en comparaison à la fertilisation minérale et aux PRO classiques (x1 – x3,7)

Parmi les scénarios avec digestat, le digestat de biodéchets émet le plus de NH_3

➤ Combinaison d'effets :
quantité appliquée, teneur en N minéral, teneur en eau

Résultats

Pertes gazeuses d'N (NH_3)



+ de volatilisation sur le sol argilo-calcaire à cause du pH plus élevé











Les apports de digestat augmentent la volatilisation en comparaison à la fertilisation minérale et aux PRO classiques (x1 – x3,7)

Parmi les scénarios avec digestat, le digestat de biodéchets émet le plus de NH_3

➤ Combinaison d'effets :
quantité appliquée, teneur en N minéral, teneur en eau

La volatilisation d'ammoniac représente jusqu'à 20% de perte d'N minéral ou 12% de l'N total dans les scénarios avec digestat

Bilan à l'échelle de la parcelle

| |  |   |   |   |    |
|-------------------------------|---|--|---|---|---|
| Lixiviation | — | — | — — | — — | — |
| Volatilisation | — | — | — — — — | — — | — — — |
| Stockage de C | | + + + | + + + | + + | + + + |
| Substitution d'engrais | | + | + + | + + + | + + |



Impact négatif



Impact positif

- On peut substituer jusqu'à 81% des engrais synthétiques par rapport à un système de grandes cultures sans élevage.
- La lixiviation et la volatilisation : grosses pertes d'N pour les digestats.
- Les digestats permettent de stocker du C (dose et stabilité du C).
- L'insertion de CIVEs réduit la lixiviation tout en améliorant le stockage de C mais moins de substitution d'engrais.
- Beaucoup d'interactions rotation x sol x type de digestat



Bilan à l'échelle du territoire



Le premier scénario a été calculé en fonction des effluents d'élevage présents sur la ferme de 400 ha principalement (8 800 t MF de la ferme + 400 t MF fumier cheval).



Le second scénario a été calculé sur la même base en ajoutant du fumier de cheval et des CIVEs sur 24% de la SAU (2 800 ha): 58 297 t MF CIVEs + 8 800 t MF de la ferme + 4 000 t MF fumier cheval

| Scénario |  |  |
|--|--|---|
| Production de gaz | 315 186 Nm ³ /an | 3 979 429 Nm ³ /an |
| Production de digestat | 7 875 t MF/an liquide 772 t MF/an solide | 44 756 t MF/an liquide 15 715 t MF/an solide |
| Surface fertilisée avec dose moyenne des scénarios | 350 ha (22,5 m ³ MF/ha/an) 77 ha (10 t MF/ha/an) | 910 ha (49 m ³ MF/ha/an) 1 526 ha (10 t MF/ha/an) |



Bilan à l'échelle du territoire



Dans le premier scénario, on produit du biogaz en maîtrisant la fertilisation au niveau de la ferme.



Dans le second scénario, on produit 10x plus de biogaz mais le digestat produit ne permet pas de fertiliser à la fois les CIVEs et les cultures principales. Le digestat solide permet d'amender les cultures d'hiver et d'augmenter la MO du sol donc à terme de diminuer les apports d'engrais minéraux.

| Scénario |  |  |
|--|--|---|
| Production de gaz | 315 186 Nm ³ /an | 3 979 429 Nm ³ /an |
| Production de digestat | 7 875 t MF/an liquide 772 t MF/an solide | 44 756 t MF/an liquide 15 715 t MF/an solide |
| Surface fertilisée avec dose moyenne des scénarios | 350 ha (22,5 m ³ MF/ha/an) 77 ha (10 t MF/ha/an) | 910 ha (49 m ³ MF/ha/an) 1 526 ha (10 t MF/ha/an) |

Discussion

- Intérêt de la modélisation pour voir les effets à long terme des changements de système
- Intérêt du couplage du modèle de méthanisation et du modèle agronomique
- Importance des hypothèses sur les caractéristiques des ressources, des digestats, des sols
- Besoin d'affiner les scénarios élevage (ajouter une référence)
- Besoin de considérer les changements de rotation liés à la méthanisation (cultures principales)
- Besoin de poursuivre la validation de STICS sur les systèmes avec méthanisation