



**HAL**  
open science

## **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.**

Camille Launay, Marianne Crépeau, Romain Girault, Florent Levavasseur,  
Sabine Houot

### ► To cite this version:

Camille Launay, Marianne Crépeau, Romain Girault, Florent Levavasseur, Sabine Houot. 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.. Journées Recherche et Industrie biogaz méthanisation - JRI 2020, Association Technique Energie Environnement (ATEE)., Sep 2020, Toulouse, France. hal-02951996

**HAL Id: hal-02951996**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02951996v1>**

Submitted on 29 Sep 2020

**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.

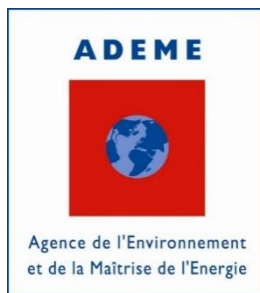
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## 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\*<sup>1,2</sup>, M Crépeau<sup>1</sup>, R Girault<sup>3</sup>, F Levavasseur<sup>1</sup>, S Houot<sup>1</sup>



<sup>1</sup> INRAE, UMR EcoSys, Thiverval-Grignon

<sup>2</sup> INRAE, UMR AGIR, Castanet-Tolosan

<sup>3</sup> INRAE, UR OPAALE, Rennes

*en partenariat avec*



## Contexte



La méthanisation induit des changements dans les systèmes de culture :

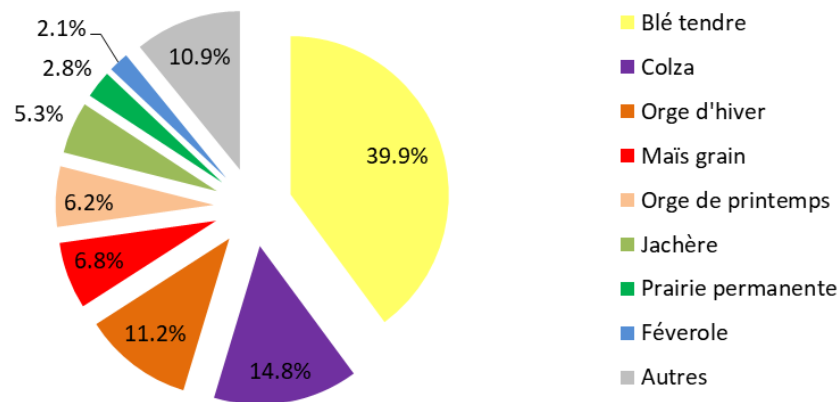
- Modification de la fertilisation
- Mobilisation des résidus de culture
- Modification de la séquence de culture pour introduire des CIVEs

➔ 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)

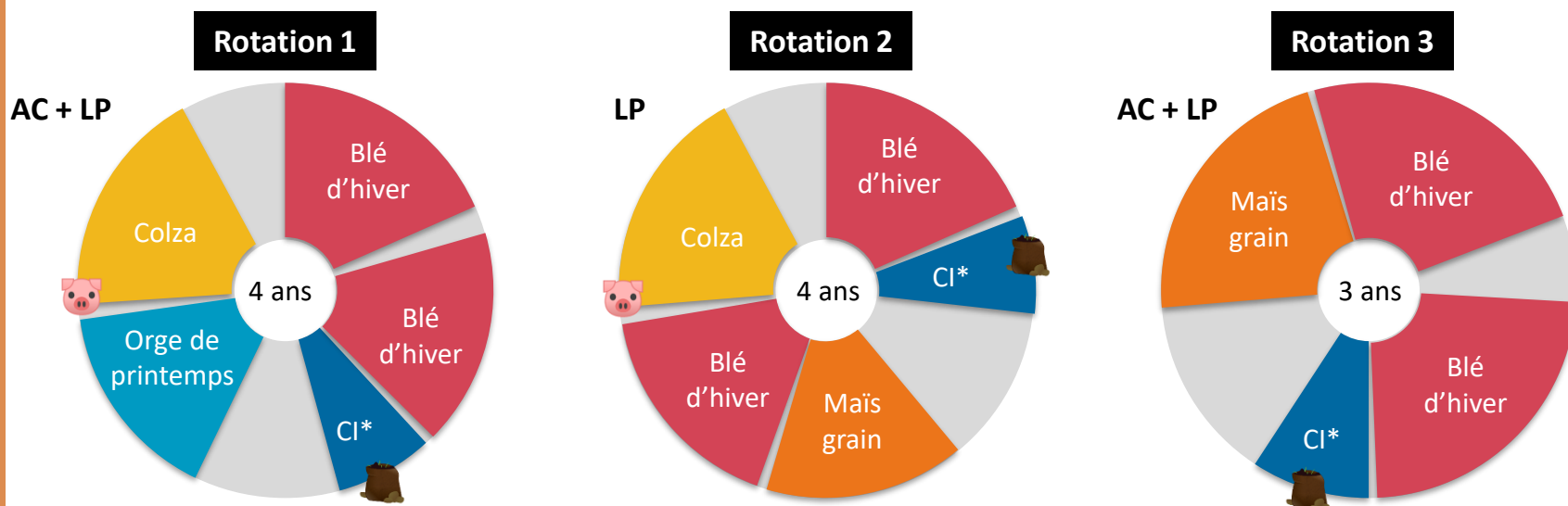
### Ressources de matière organique :

- 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

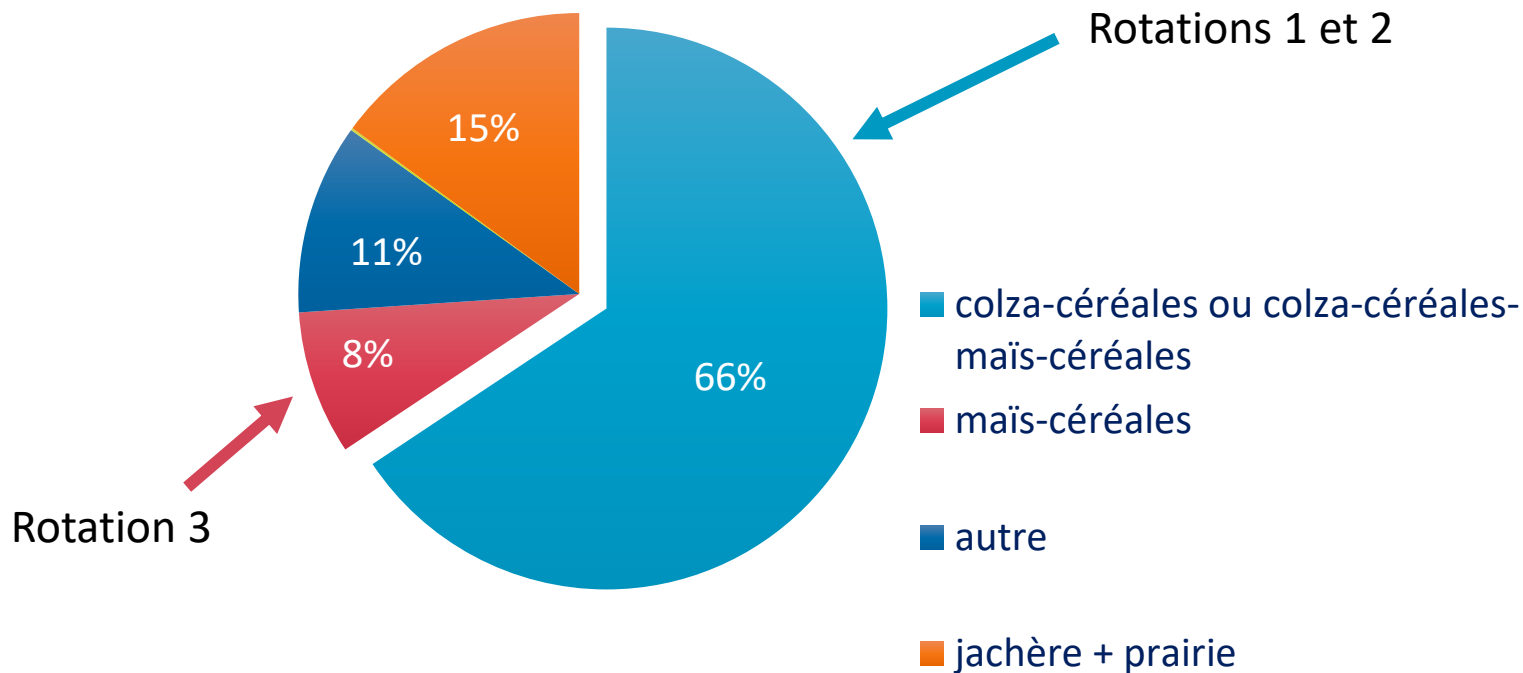
 Humival i.e. compost de lisier de porc

 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  $\text{NH}_3$

Stockage de C

Emissions de  $\text{N}_2\text{O}$

# Simulations

Biomasse de CIVE

Ressources de matière organique du territoire

Modèle de digestion anaérobie<sup>1</sup> + 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

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

Conditions pédoclimatiques

Emissions de NH<sub>3</sub> et N<sub>2</sub>O et lixiviation

Stockage de C






Simulations pendant 30 ans

<sup>1</sup> Bareña, 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

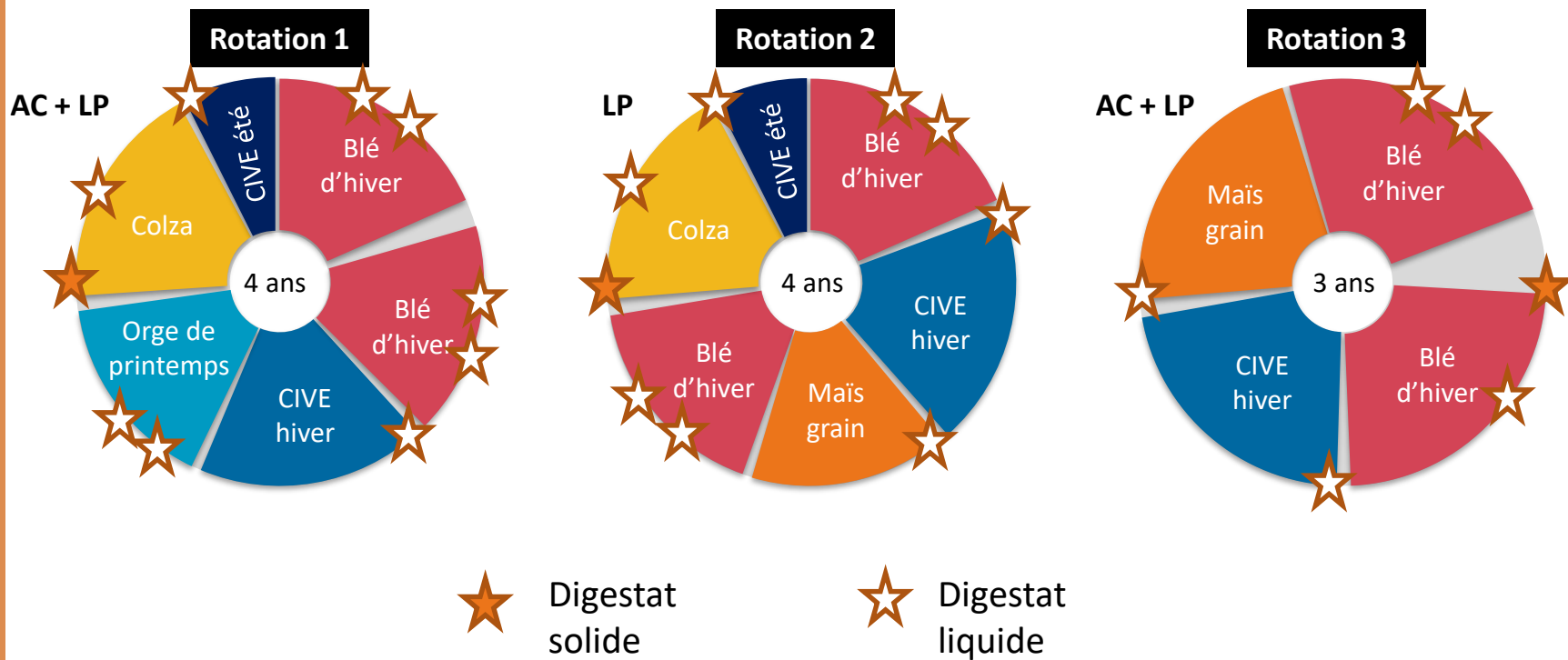
## Scénarios

	Scénario	Fertilisation minérale*	Fertilisation organique	Culture intermédiaire
	<b>Contrôle</b>	100%	0	Moutarde en hiver, incorporée
	<b>Systèmes actuels</b>	58% du contrôle	humival + compost de déchets verts	Moutarde en hiver, incorporée
	<b>Méthaniseurs de biodéchets</b>	19% du contrôle	Digestat de biodéchets	Moutarde en hiver, incorporée
	<b>Méthaniseur à la ferme</b>	6% du contrôle	Digestat des effluents d'élevage de la ferme + fumier cheval	Moutarde en hiver, incorporée
	<b>Méthaniseur agricole qui mobilise des CIVEs</b>	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.

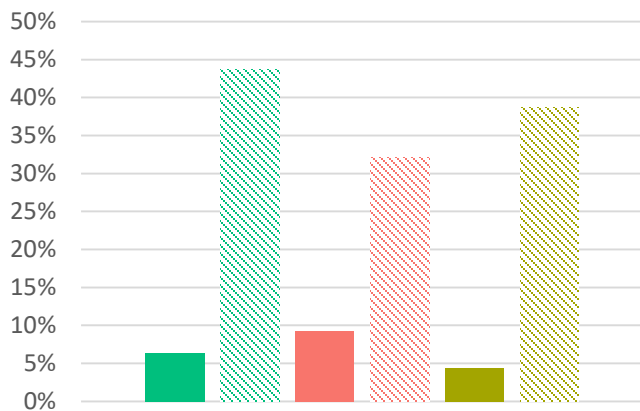
# Simulations

## Rotations avec méthanisation agricole

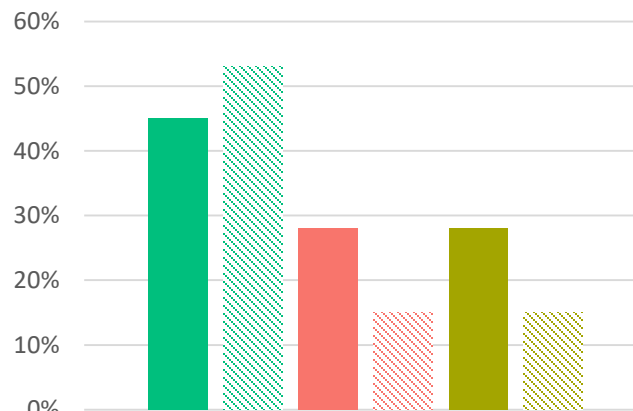


# Caractéristiques des digestats

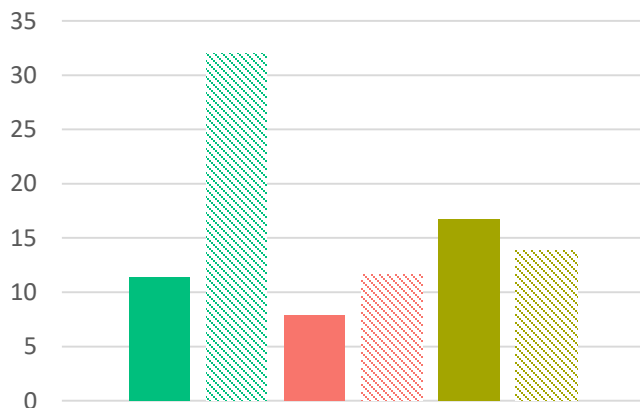
## Teneur en matière sèche



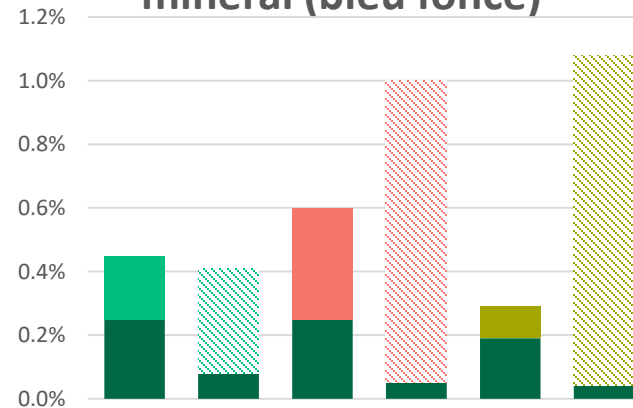
## Fraction stable de C organique



## C/N organique

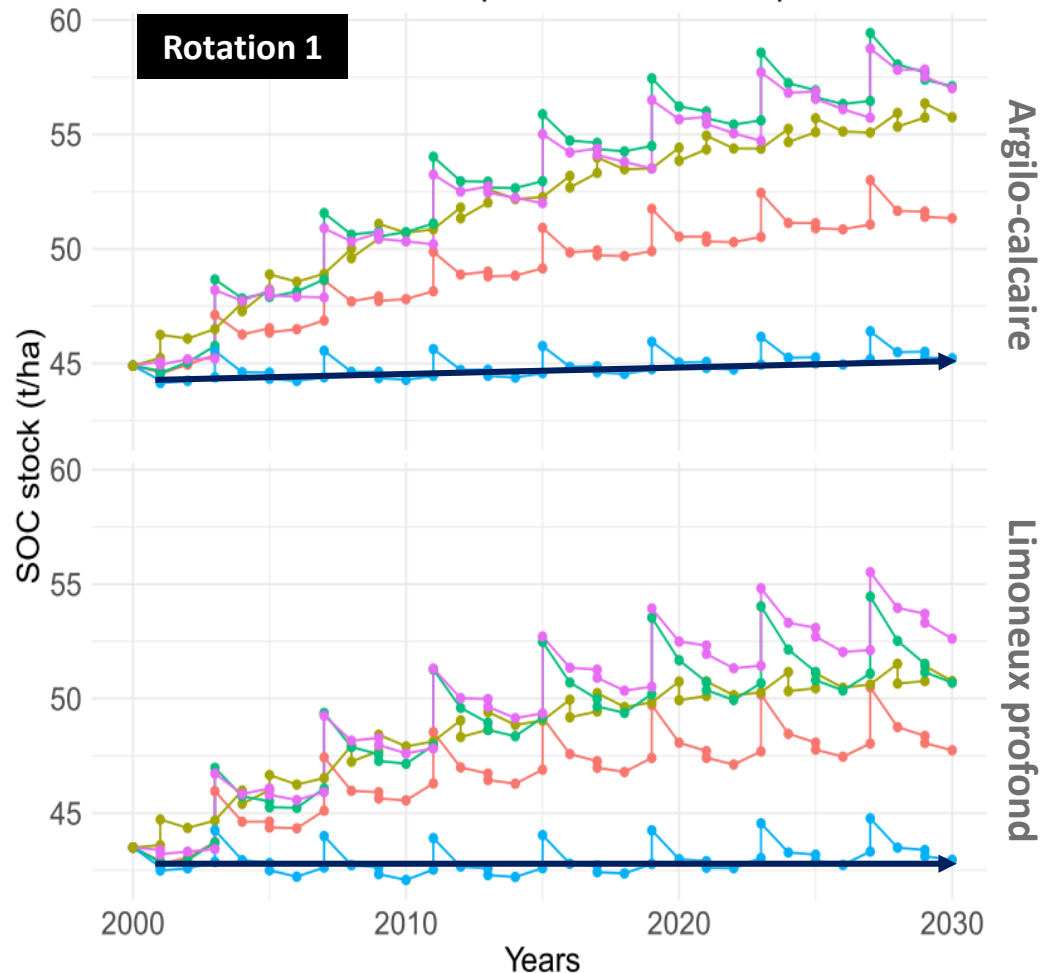


## Teneurs en N organique et minéral (bleu foncé)



# 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] %



# 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

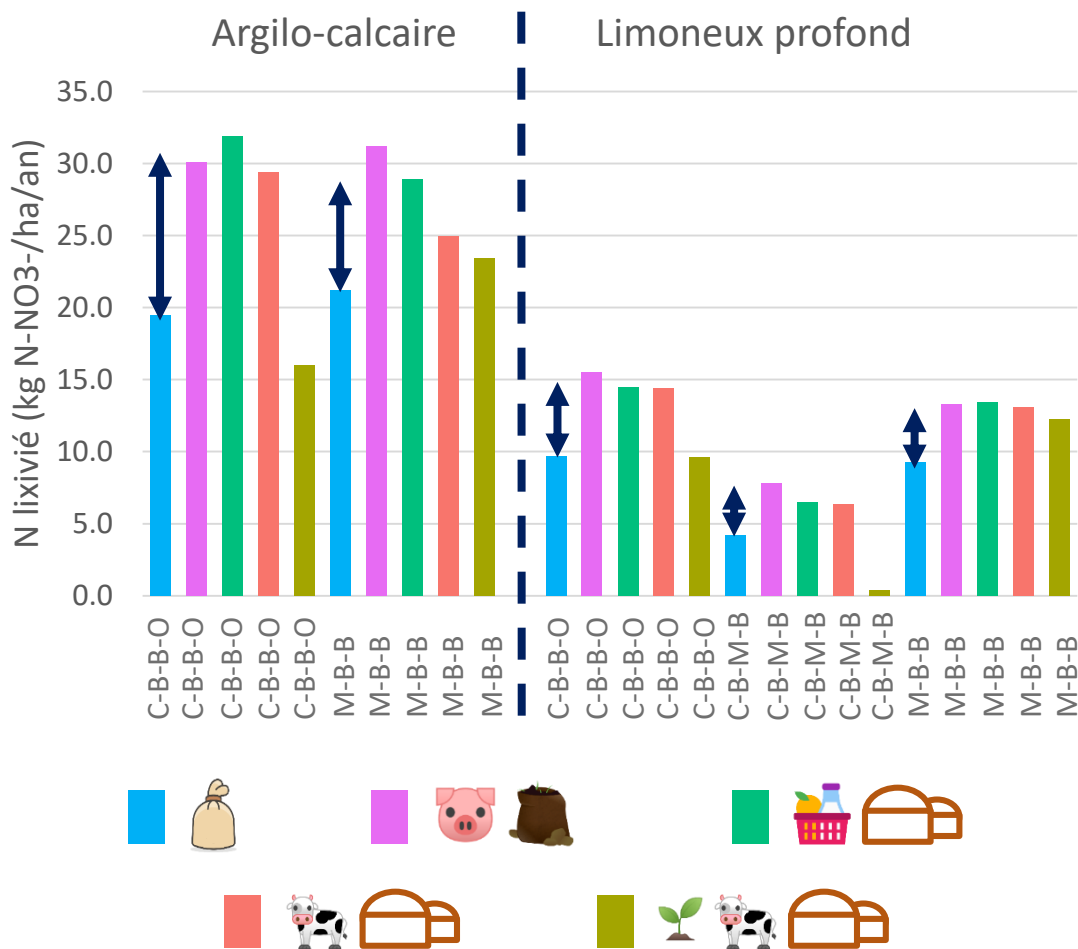
## Lixiviation de nitrate

+ de lixiviation en sol argilo-calcaire à cause de la faible réserve utile

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

- + d’N apporté
- L’N organique est minéralisé en continu mais la couverture du sol n’est pas continue

### Lixiviation moyenne annuelle



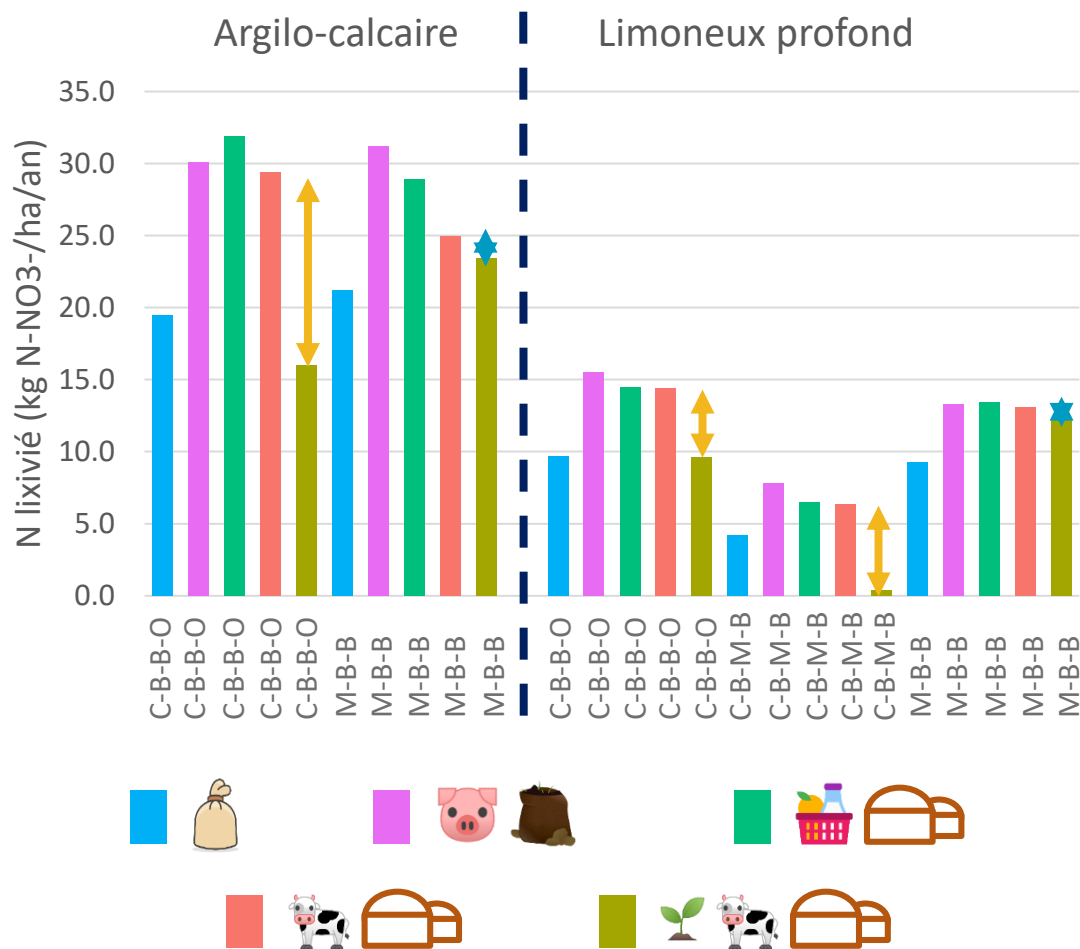
# Résultats

## 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

### Lixiviation moyenne annuelle



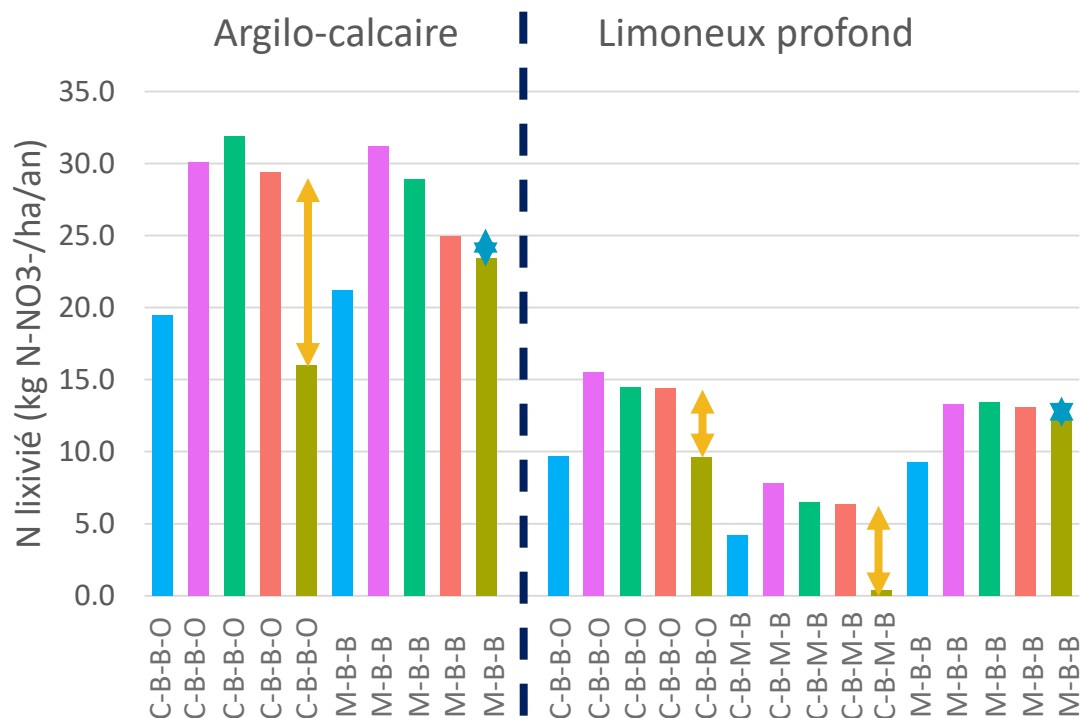
# Résultats

## 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

### Lixiviation moyenne annuelle

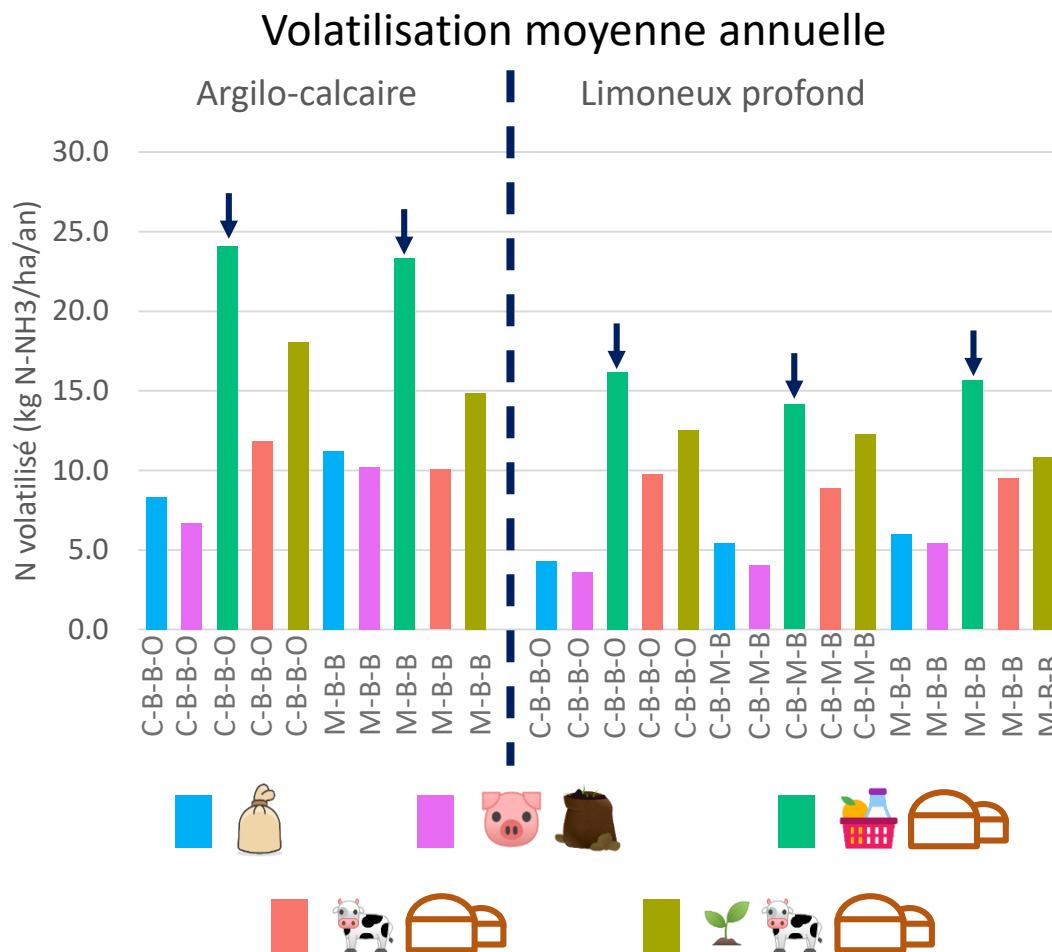


La lixiviation représente jusqu'à **17%** de perte d'N total apporté par les digestats, les CIVE d'été peuvent réduire ce pourcentage à **0,2%**



# Résultats

## Pertes gazeuses d’N (NH<sub>3</sub>)



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

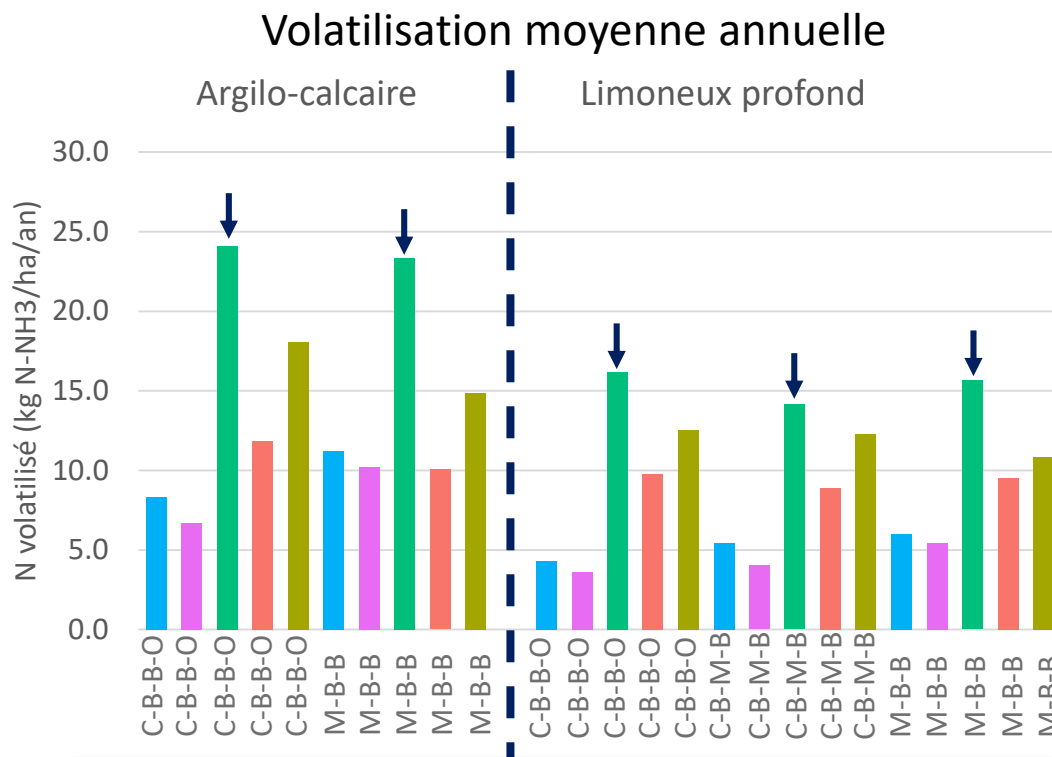
Les apports de digestat augmentent la volatilisation en comparaison à la fertilisation minérale et aux PRO classiques (x1 – x3,7)

Parmi les scénarios avec digestat, le digestat de biodéchets émet le plus de NH<sub>3</sub>

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

# Résultats

## Pertes gazeuses d’N (NH<sub>3</sub>)



+ 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<sub>3</sub>

➤ 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

		 	 	 	  
<b>Lixiviation</b>	—	—	— —	— —	—
<b>Volatilisation</b>	—	—	— — — —	— —	— — —
<b>Stockage de C</b>		+ + +	+ + +	+ +	+ + +
<b>Substitution d'engrais</b>		+	+ +	+ + +	+ +

— 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 <sup>3</sup> /an	3 979 429 Nm <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> MF/ha/an) 77 ha (10 t MF/ha/an)	910 ha (49 m <sup>3</sup> 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 <sup>3</sup> /an	3 979 429 Nm <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> MF/ha/an) 77 ha (10 t MF/ha/an)	910 ha (49 m <sup>3</sup> 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