

Workshop Méthanisation & Agroécologie

Rennes, 19 et 20 octobre 2022

# Effet de la méthanisation sur les flux de matière organique au sein des exploitations

Sabine Houot<sup>1</sup>, Florent Levavasseur<sup>1</sup>, Camille Launay<sup>1</sup>, Victor Moinard<sup>1</sup>, Sophie Carton<sup>2</sup>, Romain Girault<sup>3</sup>

<sup>1</sup> INRAE, AgroParisTech, UMR ECOSYS, Palaiseau, France

<sup>2</sup> AgroParisTech, Ferme de Grignon, Thiverval-Grignon, France

<sup>3</sup> INRAE, UR Opale, Rennes, France

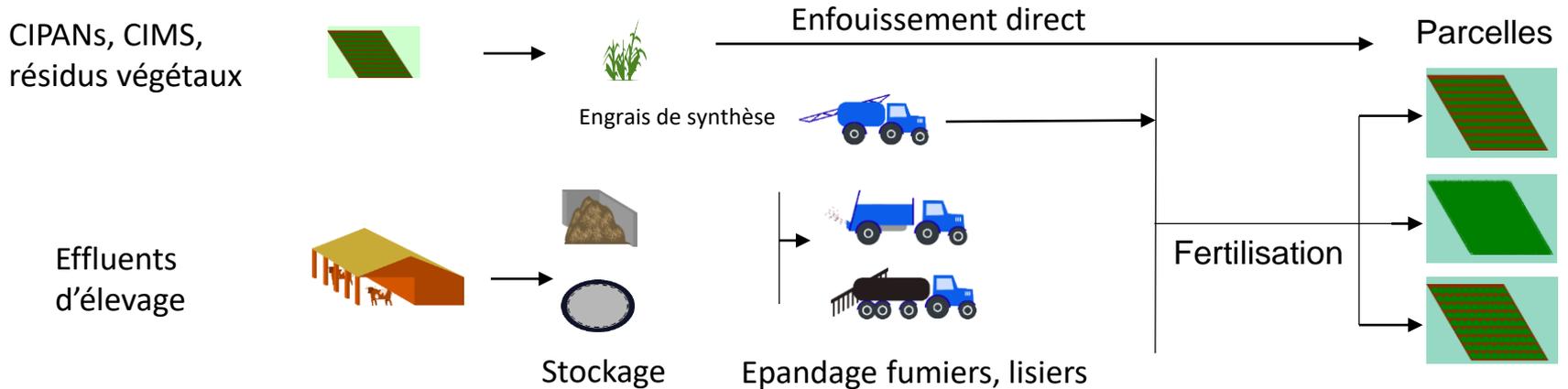
# Introduction

- Changements potentiels des flux de matières organiques induits par la méthanisation :
  - **Production de CIVEs** et/ou cultures dédiées; changement des successions de culture....
  - **Méthanisation des effluents**: digestats; changement des PRO épandus
  - **Imports de déchets extérieurs** : augmentation nutriments, mais augmentation des besoins (CIVE)
- Quelles conséquences sur les flux de C?
- Quelles conséquences sur les stocks de C dans les sols?
- Quelles fuites de CH<sub>4</sub>?
- Quel bilan GES?

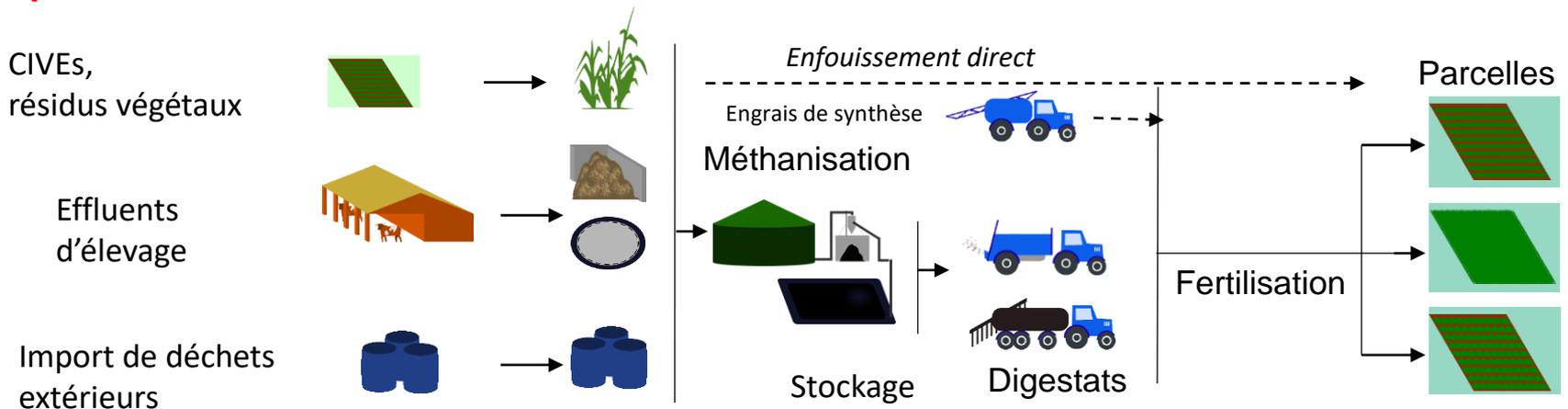
# Introduction: méthanisation agricole

La méthanisation modifie les flux de C, les augmente, change la nature de ces flux de C. Quels stocks de C dans les sols? Quelle évolution de ces stocks?

## Avant



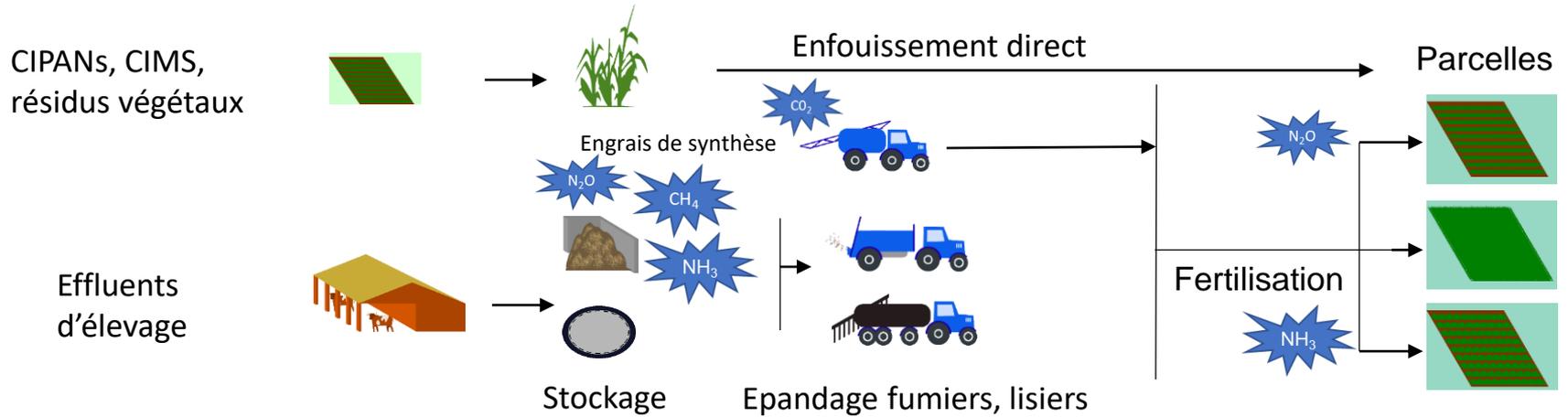
## Après



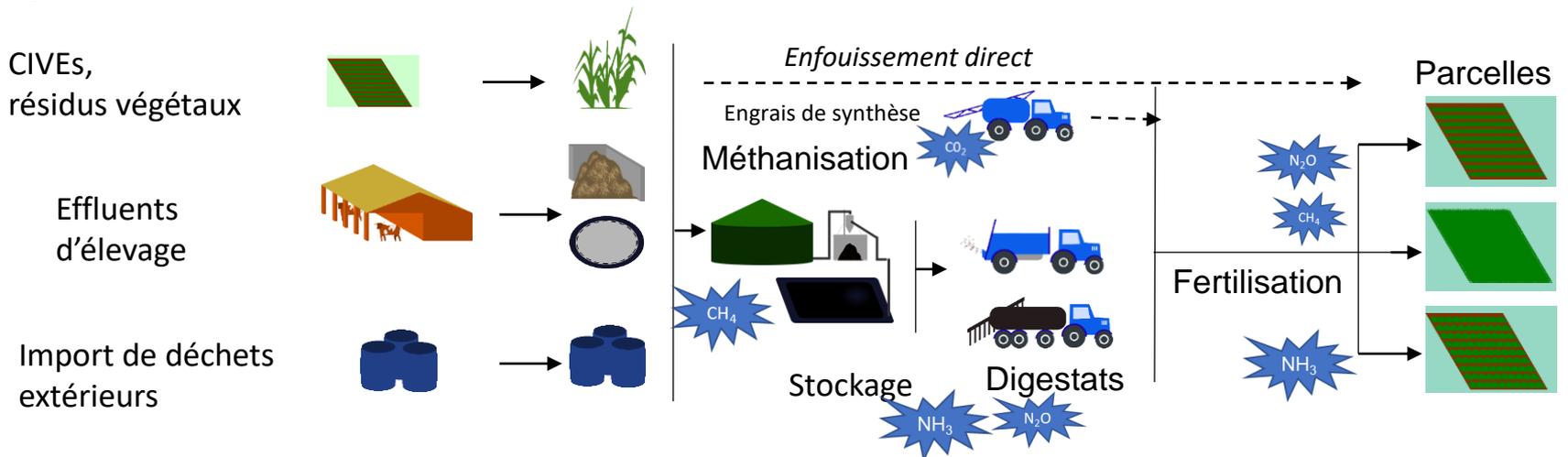
# Introduction: méthanisation agricole

Quelles émissions  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , ( $\text{NH}_3$ )? Quel bilan GES?

## Avant



## Après

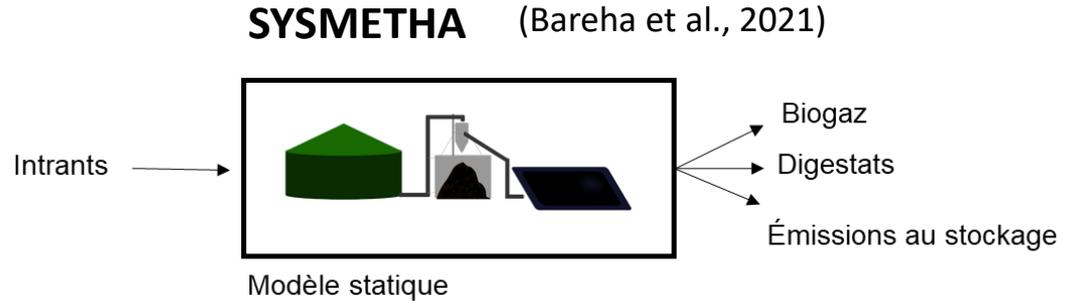
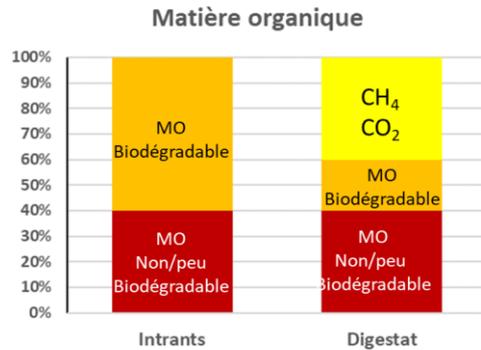


# Plan de l'exposé

1. Impact de la méthanisation sur les flux de C à la parcelle:
  - La méthanisation change la nature du C retournant au sol
  - Changement des successions de culture et des flux de C au champ
  - Conséquences sur les stocks de C dans les sols
2. Impact de la méthanisation sur les flux de C entrant dans les exploitations
3. Fuite de CH<sub>4</sub>, conséquence sur le bilan environnemental

# La méthanisation change la nature/quantité de C retournant au sol

A partir d'un substrat, **diminution des quantités** (transformation en biogaz des fractions méthanogènes)

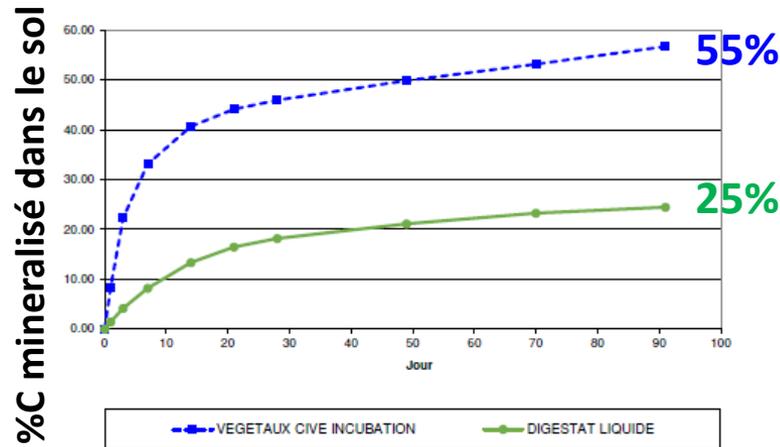


Modèle par bilan de masse et facteurs d'émission

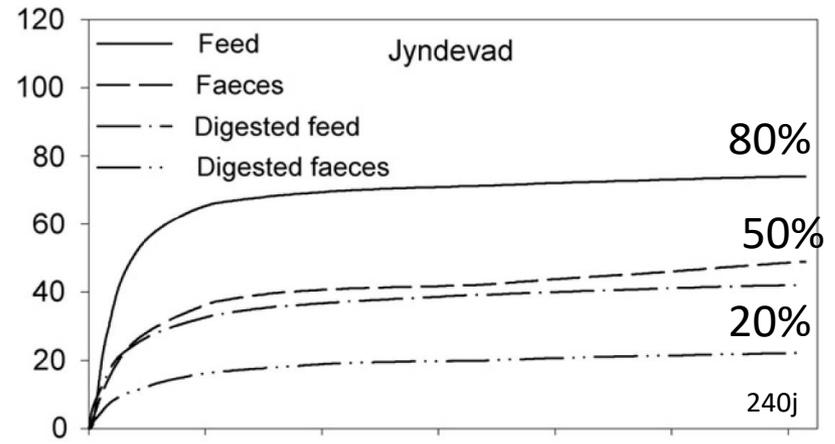
- Digestat de cives: 20% de C restant
- Digestat de fumiers: 60% de C restant

**Augmentation de la stabilité** (changement des caractéristiques de cette MO)

Cives et digestat de cives (Launay, 2022)



Faeces et faeces digéré (Thomsen et al., 2013)

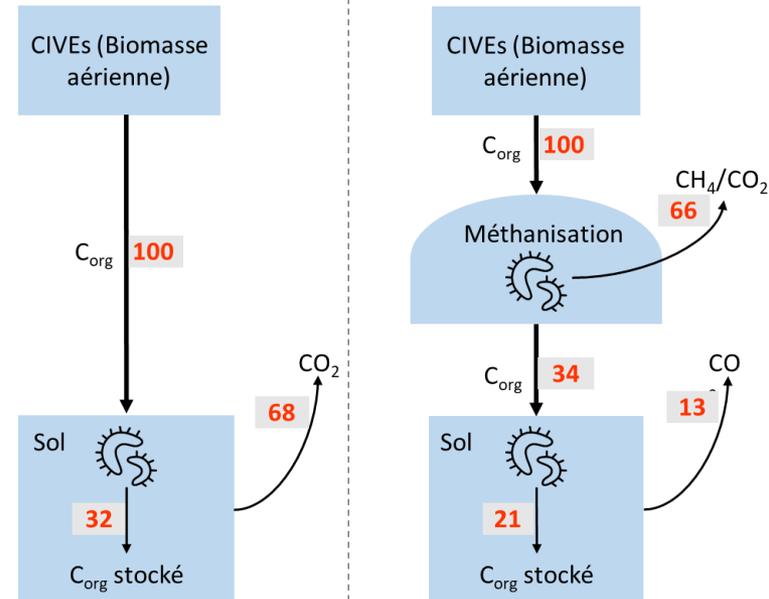


# Quelle conséquence pour le sol?

- Fourrage et effluent d'élevage (Thomsen, 2013)  
**Quantités similaires restant dans le sol**

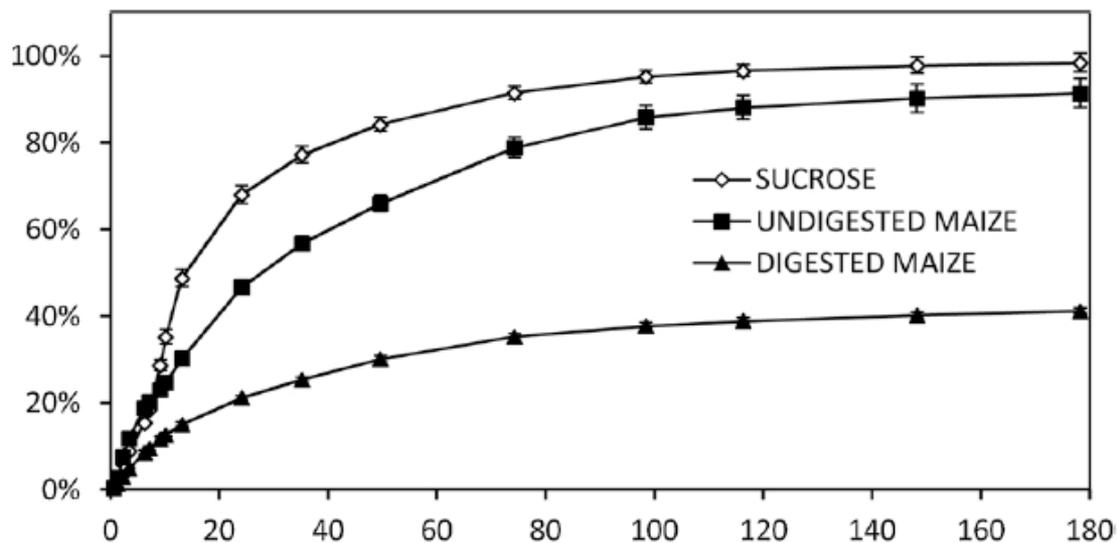


- CIVEs: données expérimentales (Launay, 2022)  
**Moins de C restant dans les sols: 32% sans méthanisation, 21% avec méthanisation**



# Quid du priming effect dans les sols?

- Minéralisation apparente de maïs digéré ou non (Beghin-Tanneau et al., 2019)



- En fait **moins de priming effect avec le digestat** : Bilan des quantités de C restant dans le sol (% du C ajouté) (Beghin-Tanneau et al., 2019)

	C restant après métha	C restant après incub	Priming effect	Bilan du C restant
Sucrose		2 ± 2	+24 ± 2	-22 ± 2
Maïs non digéré		9 ± 3	+13 ± 1	-4 ± 4
Maïs digéré	36	59 ± 1	-4 ± 1	+23 ± 1

# Passage au système de culture avec des CIVEs

- Quantités de C humifié restituées au sol

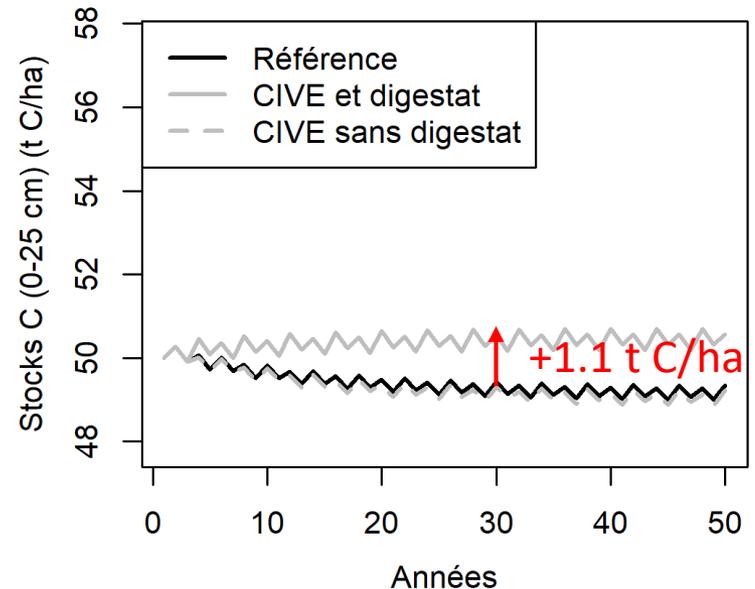
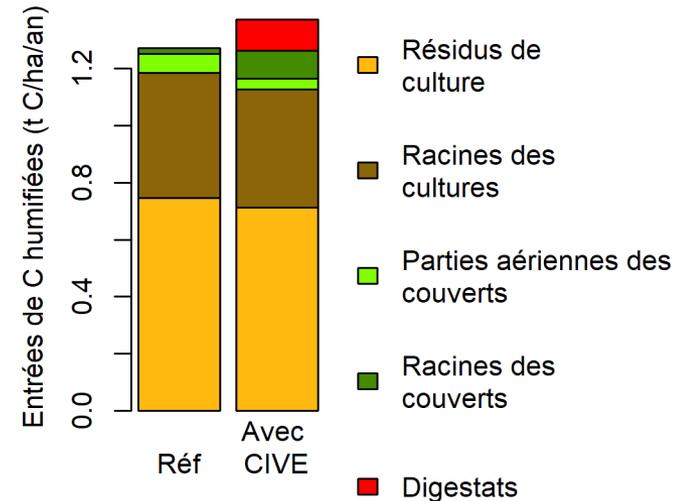
Ex de CIVEs d'hiver avant maïs en Ile de France  
(Colza – blé – (couv) – maïs grain – blé)

**CIPAN: 2 tonnes MS/ha**

**CIVES hiver : 10 tonnes MS/ha**

- Evolution des stocks de C dans les sols avec et sans CIVEs

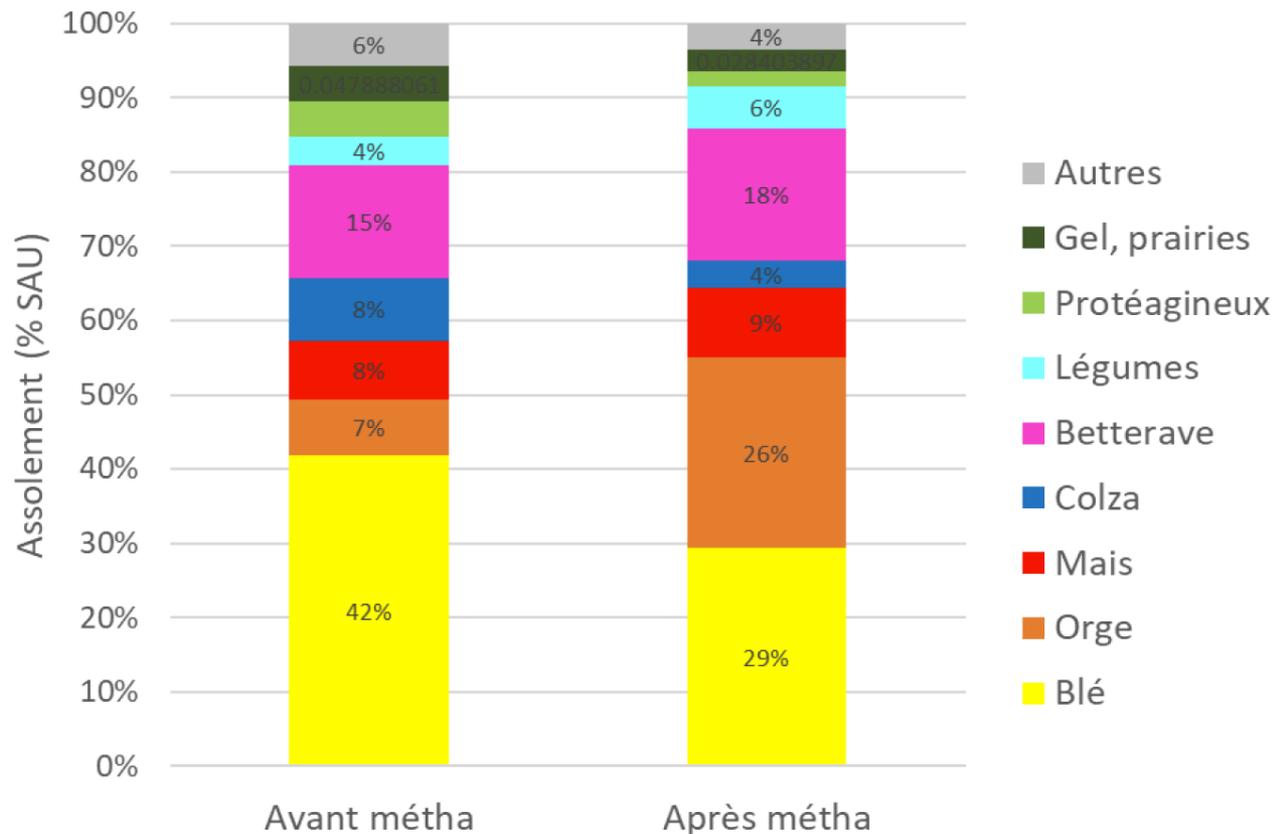
**Plus de stockage de C en présence de CIVEs car plus d'entrées de C**



(Levassasseur et al., 2022)

# Passage au système de culture avec des CIVEs

- Cas de la **méthanisation sans élevage en Ile de France** (Carton et Levavasseur, 2022)
  - Changement des cultures avec la méthanisation



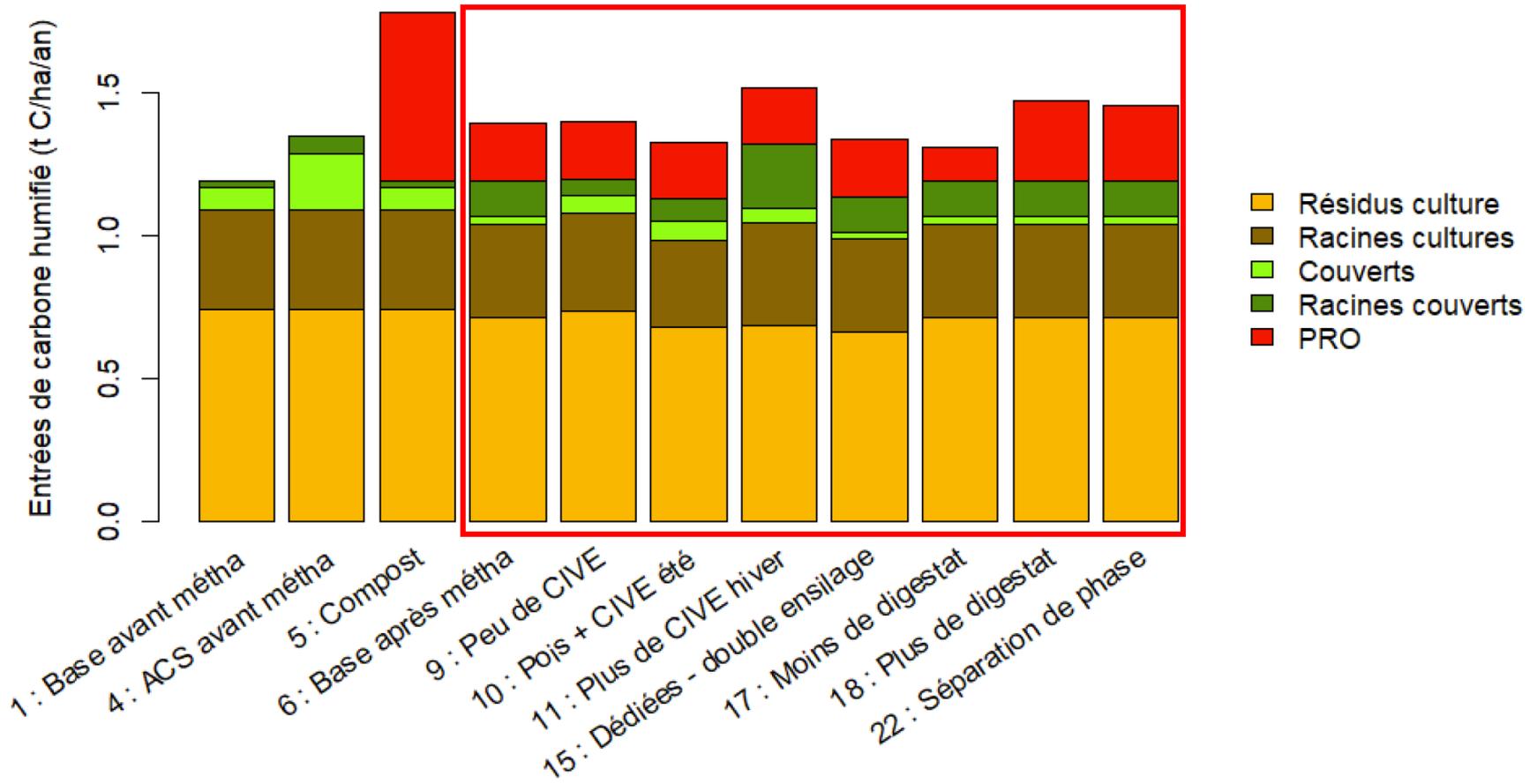
# Passage au système de culture avec des CIVEs

- Cas de la méthanisation sans élevage en Ile de France (Carton et Levavasseur, 2022)

Année	Scénario avant métha	Scénarios après méthanisation			
		Base	Peu de CIVE	Pois + CIVE d'été	Plus de CIVE (hiver)
1	CIPAN	<b>CIVE d'été</b>	<b>CIVE d'été</b>	<b>CIVE d'été</b>	<b>CIVE d'été</b>
	Betterave	Betterave	Betterave	Betterave	Betterave
2	Blé	<b>Orge d'hiver</b>	<b>Orge d'hiver</b>	<b>Orge d'hiver</b>	<b>Orge d'hiver</b>
		<b>CIVE d'été</b>	<b>CIVE d'été</b>	<b>CIVE d'été</b>	<b>CIVE d'été</b>
3	Blé	Blé	Blé	Blé	Blé
4	CIPAN	<b>CIVE d'hiver</b>	CIPAN	<b>CIVE d'hiver</b>	<b>CIVE d'hiver</b>
	Maïs grain	Maïs grain	Maïs grain	Maïs grain	Maïs grain
5	Blé	Blé	Blé	Blé	Blé
6	Colza	Colza	Colza	<b>Pois d'hiver</b>	<b>CIVE d'hiver</b>
				<b>CIVE d'été</b>	<b>Maïs grain</b>
7	Blé	<b>Orge d'hiver</b>	Blé	Blé	<b>Orge d'hiver</b>
8	CIPAN	<b>CIVE d'été</b>	CIPAN	CIPAN	<b>CIVE d'été</b>
	Betterave	Betterave	Betterave	Betterave	Betterave
9	Blé	Blé	Blé	Blé	<b>Orge d'hiver</b>
					<b>CIVE d'été</b>
10	Orge d'hiver	Orge d'hiver	Orge d'hiver	Orge d'hiver	Orge d'hiver

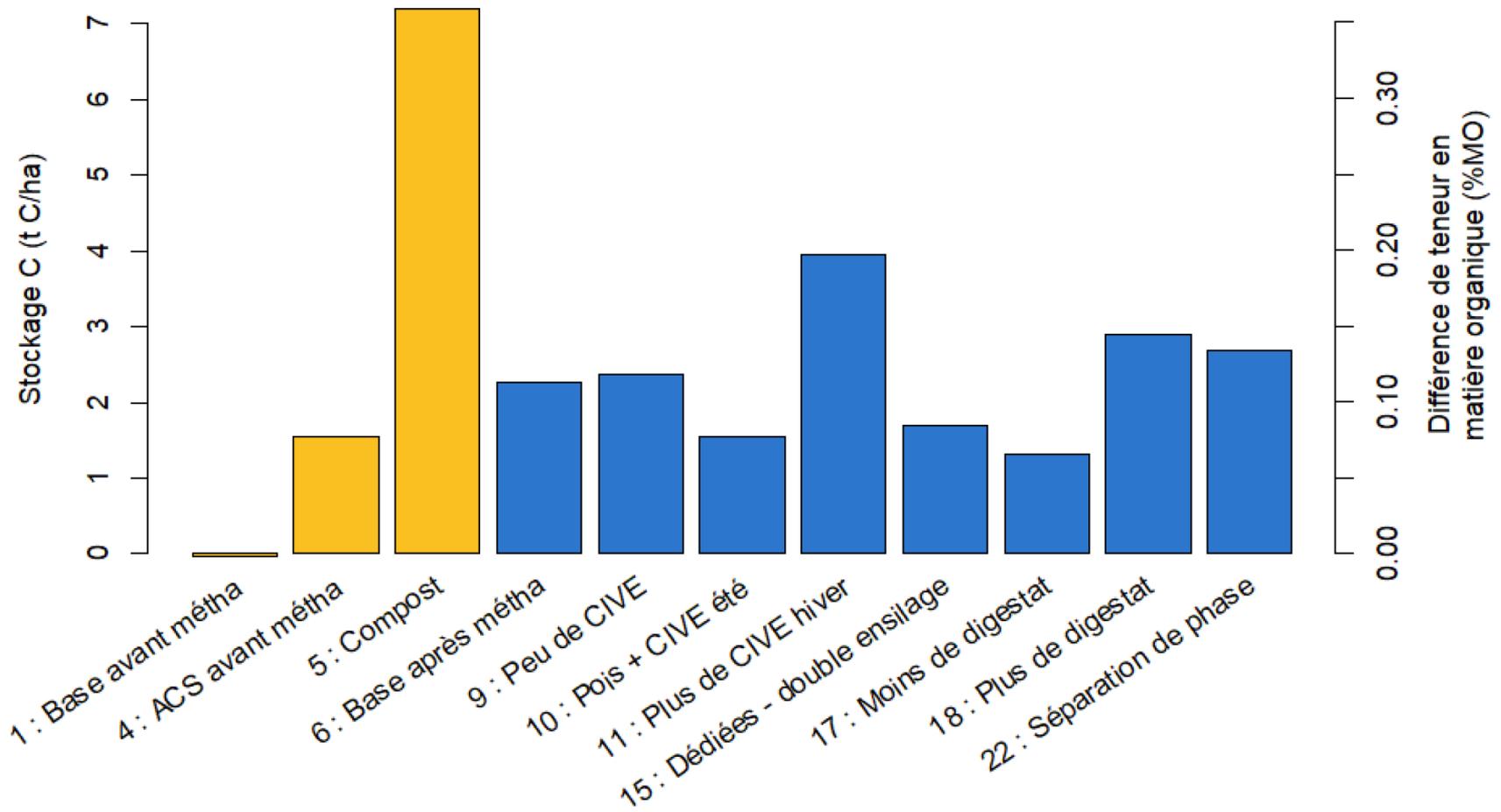
# Passage au système de culture avec des CIVEs

- Cas de la **méthanisation sans élevage en Ile de France** (Carton et Levavasseur, 2022)
  - Toujours plus d'entrées de C humifié avec la méthanisation par rapport à fertilisation minérale (20-30% du C pour les résidus aériens, 40% du C pour les racines, ISMO de 50% du C pour les digestats)



# Passage au système de culture avec des CIVEs

- Cas de la **méthanisation sans élevage en Ile de France** (Carton et Levavasseur, 2022)
  - Compost plus efficace pour stocker du C
  - Toujours plus de stockage de C que fertilisation minérale avec la méthanisation



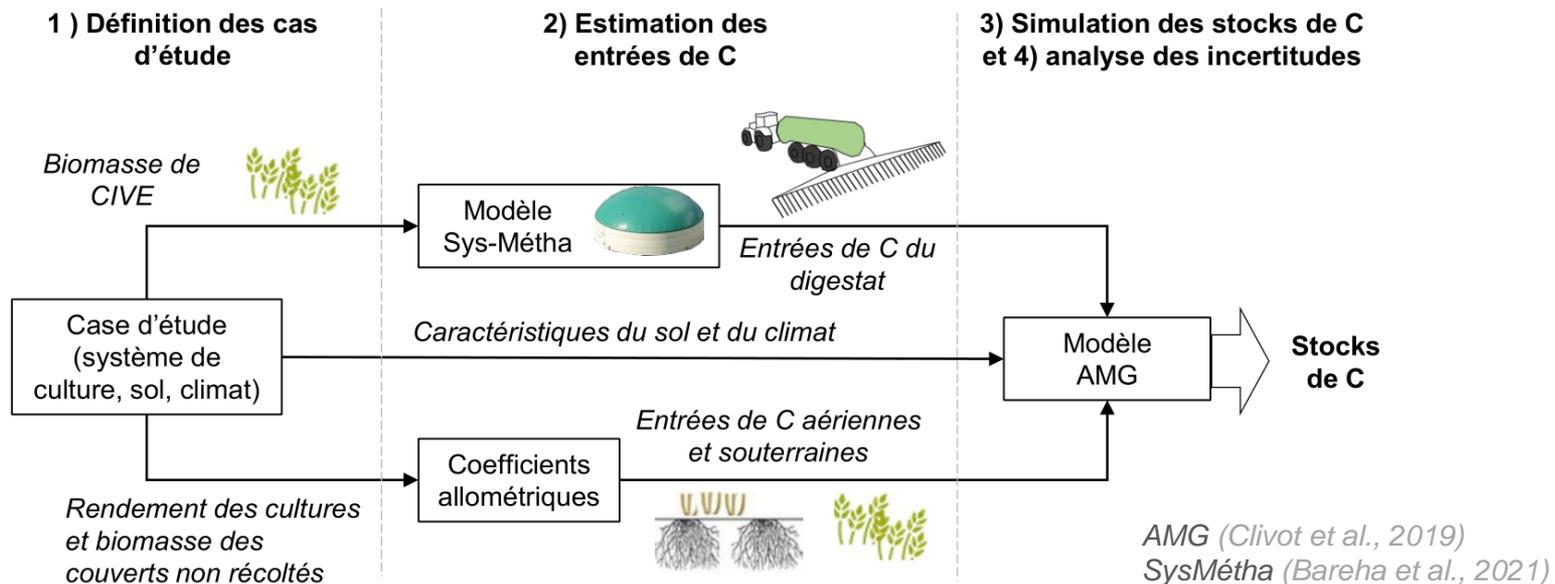
# Généralisation France entière

1) Définition de cas types à simuler, avec ou sans CIVE

2) Estimation des entrées de C :

- Par les couverts, résidus de cultures, racines à partir des rendements et de coefficients issus de la littérature
- Par le digestat grâce au modèle Sys-Métha qui estime le C des CIVE restant après méthanisation

3) Simulation de l'évolution des stocks de C avec AMG (0-25 cm à 30 ans)



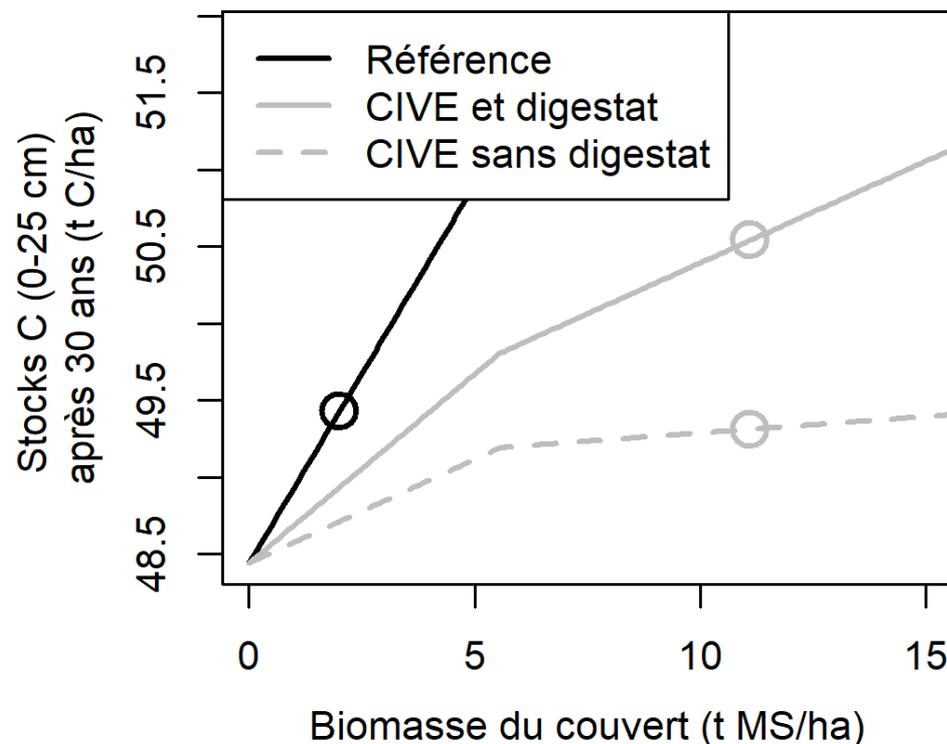
(Carbocims; Levavasseur et al., soumis)

# Influence du rendement du couvert

Exemple du cas type 1 (Ile-de-France, CIVE d'hiver avant maïs)

- A rendement identique entre couvert non récolté et CIVE, le stock de C à 30 ans est plus important avec un couvert non récolté (et digestat)
- Mais rendement des CIVE >> rendement des couverts non récoltés :
  - ✓ Il faudrait 4.3 t MS/ha de couverts non récoltés pour stocker autant qu'une CIVE d'hiver à 10 t MS/ha
  - ✓ Une CIVE d'hiver (avec digestat) stocke plus qu'un couvert non récolté (de 2 t MS/ha) à partir d'un rendement de 3.7 t MS/ha

Stock C à 30 ans (0-25 cm) en fonction du rendement des couverts



- Rendement référence CIVE hiver = 10 MS/ha récoltés (11 t MS/ha biomasse)
- Rendement référence couvert non récolté = 2 t MS/ha

(Carbocims; Levavasseur et al., soumis)

# Stockage de C pour l'ensemble des cas types France entière

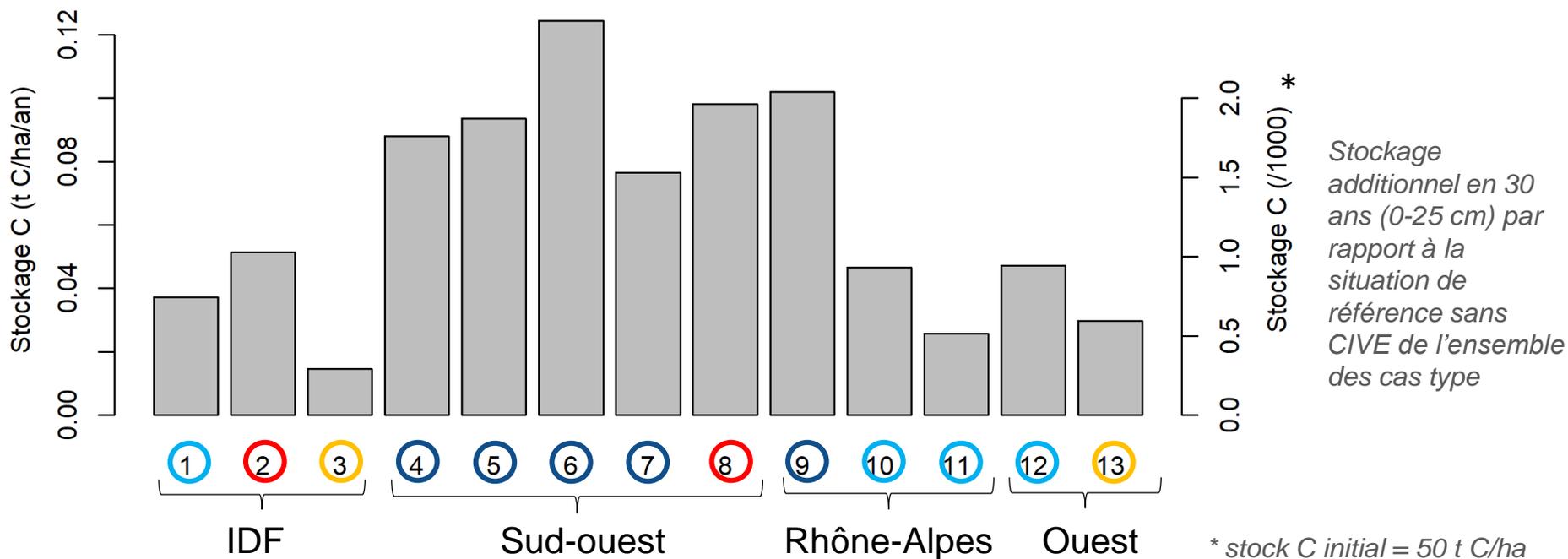
Stockage positif pour l'ensemble des cas type avec retour de digestat (de 0.3‰ à 2.4‰)

Variable selon les contextes pédoclimatiques, les fréquences et productions de CIVE considérées et la situation sans méthanisation :

- CIVE hiver remplace sol nu ○
- CIVE d'été remplace sol nu ○
- ou CIVE hiver remplace couvert non récolté ○
- CIVE d'été remplace couvert non récolté ○



Diminution du stockage  
(mais reste positif)

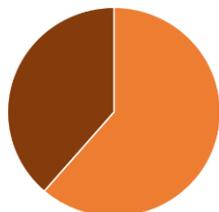


# Importance des intrants extérieurs aux exploitations

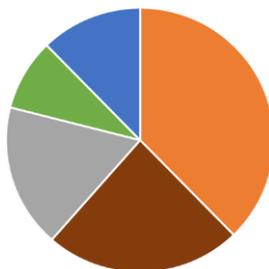
Exemple d'une exploitation de polyculture élevage (Moinard, 2021)



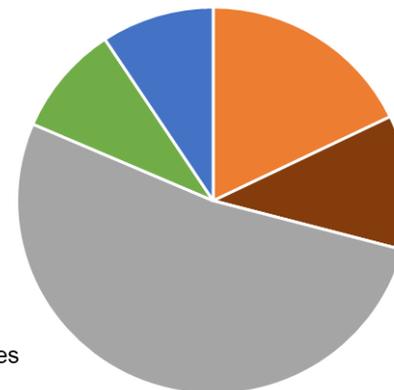
Pas de méthaniseur  
1370 t d'effluents bovin



Méthaniseur à la ferme  
2200 t de déchets agricoles

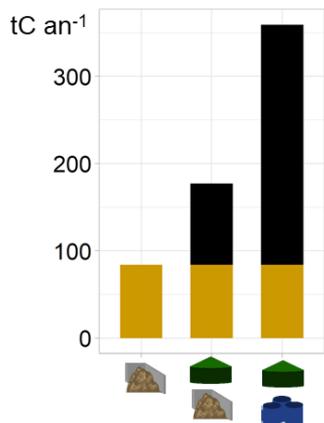


Méthaniseur à la ferme  
4700 t de déchets + urbains et industriels

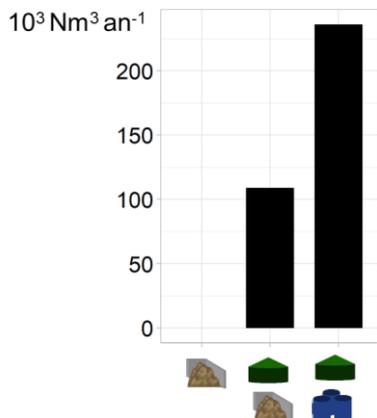


■ Lisier bovin   
 ■ Fumier bovin   
 ■ Déchets urbains et industriels   
 ■ Autres déchets agricoles   
 ■ Eaux sales

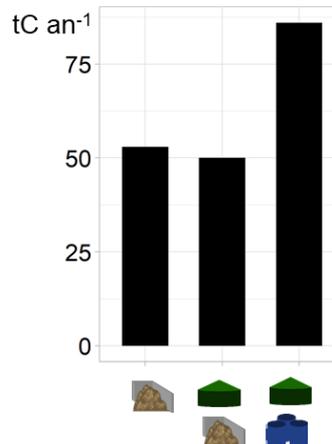
C dans les effluents et déchets organiques importés



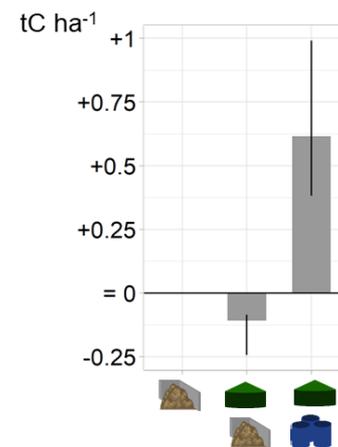
Biogaz



C PRO épandu



Stockage relatif de C dans les sols (à 20 ans)



-0,3‰ à +1,4‰ par an

# Emissions de CH<sub>4</sub>: fuites de biogaz

## Impactent le bilan environnemental de la méthanisation

Fuites totales = fuites résiduelles (tuyau, joint,...) + fuites soupape (ouverture de la soupape)

- Fuites résiduelles généralement faibles (0,3%)
- Fuites soupapes potentiellement importantes (jusque 13%), dépendantes du taux d'ouverture de la soupape (dysfonctionnement, suralimentation,...)

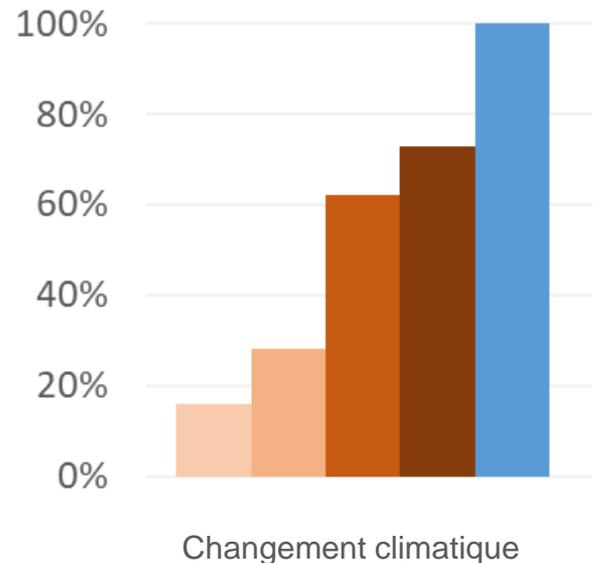
Scénario Idéal : uniquement les fuites résiduelles : 0,3%

Scénario Normal : ouverture de la soupape à 23% du temps : 5%

Scénario Problématique : ouverture à 76% du temps : 18%

Scénario Extrême : ouverture à temps plein, taux calculé : 22%

Scénario de référence : sans méthanisation



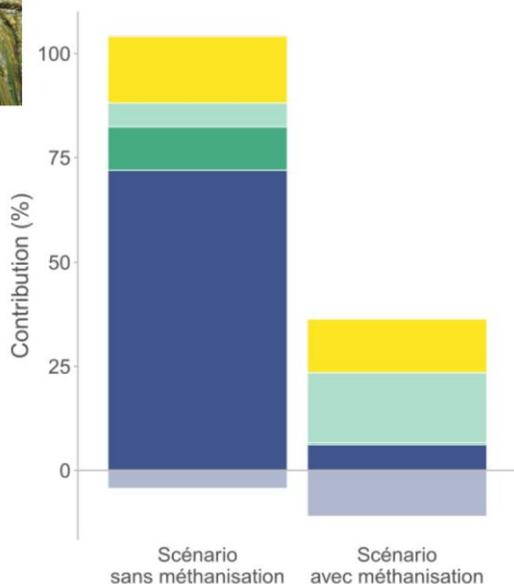
**Bilan toujours favorable à la méthanisation (fuite de CH<sub>4</sub> au stockage des effluents d'élevage)**

Aissani, 2021

Projet Trackyleaks, Bioteau et al., 2018

# Contribution des GES à l'indicateur du changement climatique de l'ACV

## « Culture »



Gestion des effluents d'élevage

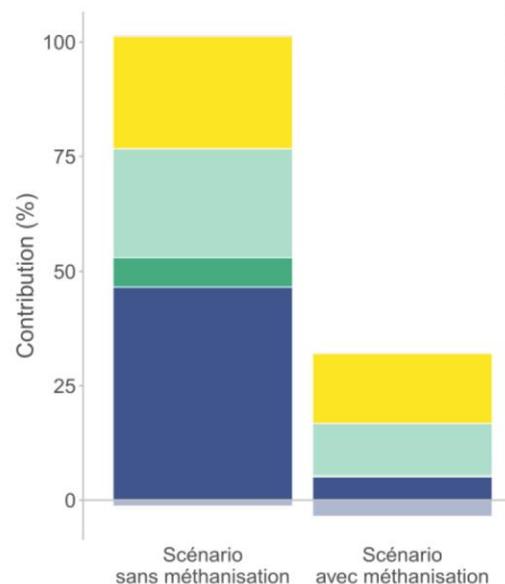


Production de chaleur



Valorisation des matières organiques

## « Elevage »



Production et utilisation d'un gaz renouvelable → Forte réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, fossile  
Gestion optimisée des effluents → Réduction des émissions de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O (« Elevage »)

Esnouf et al., 2021. ACV du biométhane

# Conclusion

- Pour une quantité de biomasse donnée, la méthanisation diminue le retour au sol du C et le stockage du C
- Mais les **entrées de C sont souvent augmentées en amont** dans les systèmes avec méthanisation (CIVEs avec des biomasses supérieures, intrants extérieurs...) → les entrées de C dans les sols sont supérieures avec la méthanisation et **du stockage de C est simulé.**
- Les fuites de biogaz n'annulent pas l'intérêt de la méthanisation pour limiter les émissions des élevages
- La méthanisation améliore l'indicateur changement climatique des systèmes de grandes cultures et élevage (mais scénario très favorable à la méthanisation)
- Important de NE PAS découpler les flux de C et des autres flux (éléments fertilisants N, P, K)....