

**JRI**  
**2024**

26 – 28 mars 2024 PAU

## L'injection de CO<sub>2</sub> dans les réacteurs de méthanisation peut-elle augmenter la production de méthane ?

C. Peyrelasse, Lucie Castel, Guillaume Cazaudehore, Rémy Guyoneaud, Jean-Baptiste Beigbeder



ARVALiS



# Introduction

Certains travaux indiquent que **l'injection de CO<sub>2</sub>** dans un digesteur pourrait **augmenter le rendement de production de méthane**.

**Mécanismes biologiques mal connus.** L'injection du CO<sub>2</sub> entraînerait une augmentation de la production d'H<sub>2</sub> :

- Par dissolution du CO<sub>2</sub> et production de protons,
- Par l'acétogénèse boostée
- Par une activité accrue des bactéries acidogènes en présence de substrats facilement biodégradables en quantités suffisantes (Muntau et al., 2021)

La réduction du CO<sub>2</sub> se ferait par homoacétogénèse puis méthanogénèse ou via les archées hydrogénotrophes.

# Retours bibliographie

Référence	Type d'intrants	V <sub>utile</sub> réacteur (L)	Système injection CO <sub>2</sub>	Performance de production de CH <sub>4</sub>
Bajón Fernández et al. (2014)	Biodéchets Boues d'épuration	0.7 (batch)	Diffuseurs Pyrex	+ 5, 8 et 13% (fraction molaire de CO <sub>2</sub> : 30%, 60% et 90%) Pas d'impact positif
Bajón Fernández et al. (2015)	Biodéchets	106	Colonne à bulles	+ 5% (non significatif) entre le pilote témoin et le pilote test + 24% d'augmentation sur le pilote test fonctionnant successivement avec et sans injection de CO <sub>2</sub>
Al-mashhadani et al. (2016)	Biodéchets	8-9	Diffuseurs céramiques	+ 100 - 110% avec CO <sub>2</sub> pur + 10 - 12% avec biogaz dilué (80% CO <sub>2</sub> ) + 12 - 14% avec du biogaz recyclé - avec azote Témoin non agité, sans bullage
Alibardi et al. (2017)	Boues d'épuration	90	Colonne à bulles Colonne à garnissage	Pas d'impact positif +12% (significatif)
Muntau et al. (2021)	Boues d'épuration	35	Colonne à bulles	Impact dépendant de la CVO : 0% (1,5 et 2 kg <sub>MVS</sub> /m <sup>3</sup> /j) + 3.2 ± 6.3% (3 kg <sub>MVS</sub> /m <sup>3</sup> /j) non significatif + 6.3 ± 12.2% (4 kg <sub>MVS</sub> /m <sup>3</sup> /j) significatif
Zhang et al. (2023)	Biodéchets	1,9	Non connu	+ 12% (injection continue) et + 27% (injection séquencée)

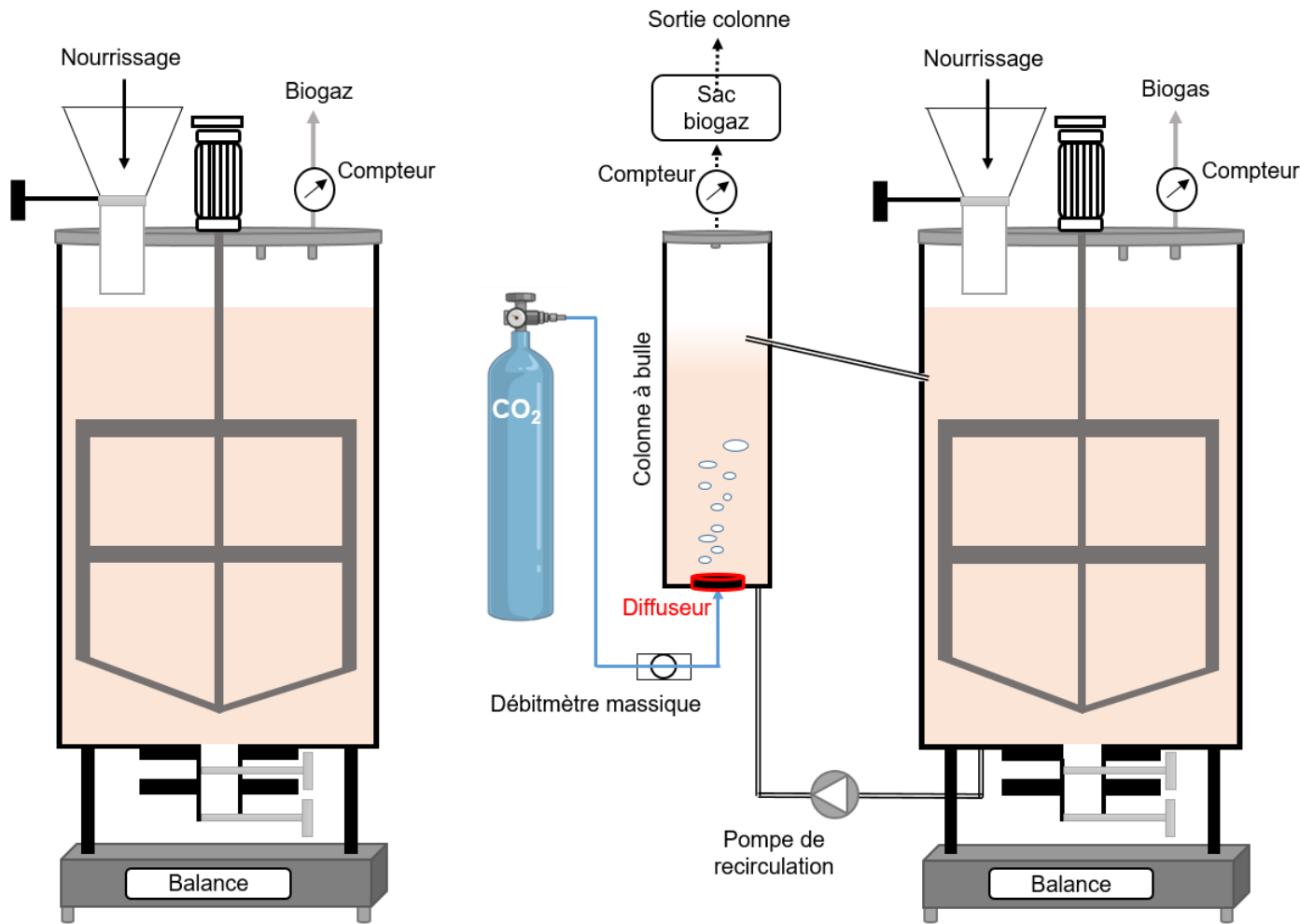


Absence de consensus et de données sur des intrants agricoles  
Compréhension des mécanismes biologiques nécessaire

# Matériel & Méthodes

**Témoin :  $R_{control}$**

**Réacteur test :  $R_{CO_2}$**



Réacteurs fonctionnant en parallèle

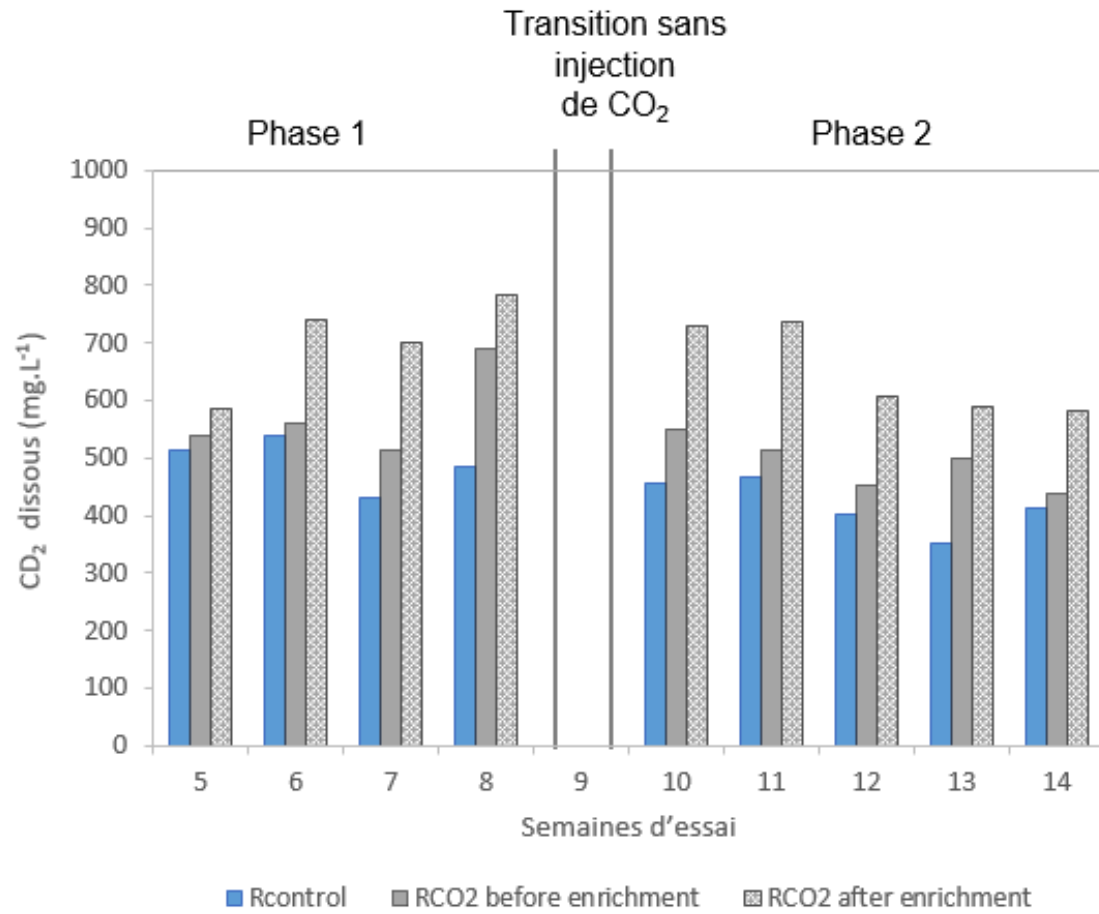
Conditions opératoires	Température	38°C
	Alimentation	5x/semaine
	Intrants	Lisier bovin Cive de maïs
	Charge	3.0 kg <sub>MVS</sub> .m <sup>-3</sup> .j <sup>-1</sup>
Paramètres de suivi	Temps de rétention hydraulique	30 jours
	Stabilité biologique	pH, redox, AGV, FOS/TAC, ammonium, CO <sub>2</sub> dissous
	Diversité microbienne	ADN - ARN

# Matériel & Méthodes

## Modalités testées pour l'injection du CO<sub>2</sub>

		Unit	Rcontrol	RCO <sub>2</sub>
Phase 1 1 TSH	Débit CO <sub>2</sub>	NL.h <sup>-1</sup>	0	<b>12</b>
	Durée d'injection de CO <sub>2</sub>	heure	/	<b>1</b>
	Fréquence d'injection	-	/	3 jours/sem.
	VCO <sub>2</sub>	L/sem.	/	36
	Débit de CO <sub>2</sub> ramené au volume utile du réacteur	LCO <sub>2</sub> /Lréacteur/h	/	<b>0.6</b>
Période de transition – 1 sem.	Débit de CO <sub>2</sub>	NL/h	0	0
Phase 2 1 TSH + 1 SEM	Débit CO <sub>2</sub>	NL.h <sup>-1</sup>	0	<b>4</b>
	Durée d'injection de CO <sub>2</sub>	heure	/	<b>3</b>
	Fréquence d'injection	-	/	3 Jours/sem
	VCO <sub>2</sub>	L/sem.	/	36
	Débit de CO <sub>2</sub> ramené au volume utile du réacteur	LCO <sub>2</sub> /Lréacteur/h	/	<b>0.2</b>

# Résultats : Dissolution du CO<sub>2</sub>



## **Phase 1**

Augmentation de  $22 \pm 14 \%$  de la concentration de CO<sub>2</sub> après injection  
 $10 \pm 5\%$  du CO<sub>2</sub> a été dissous

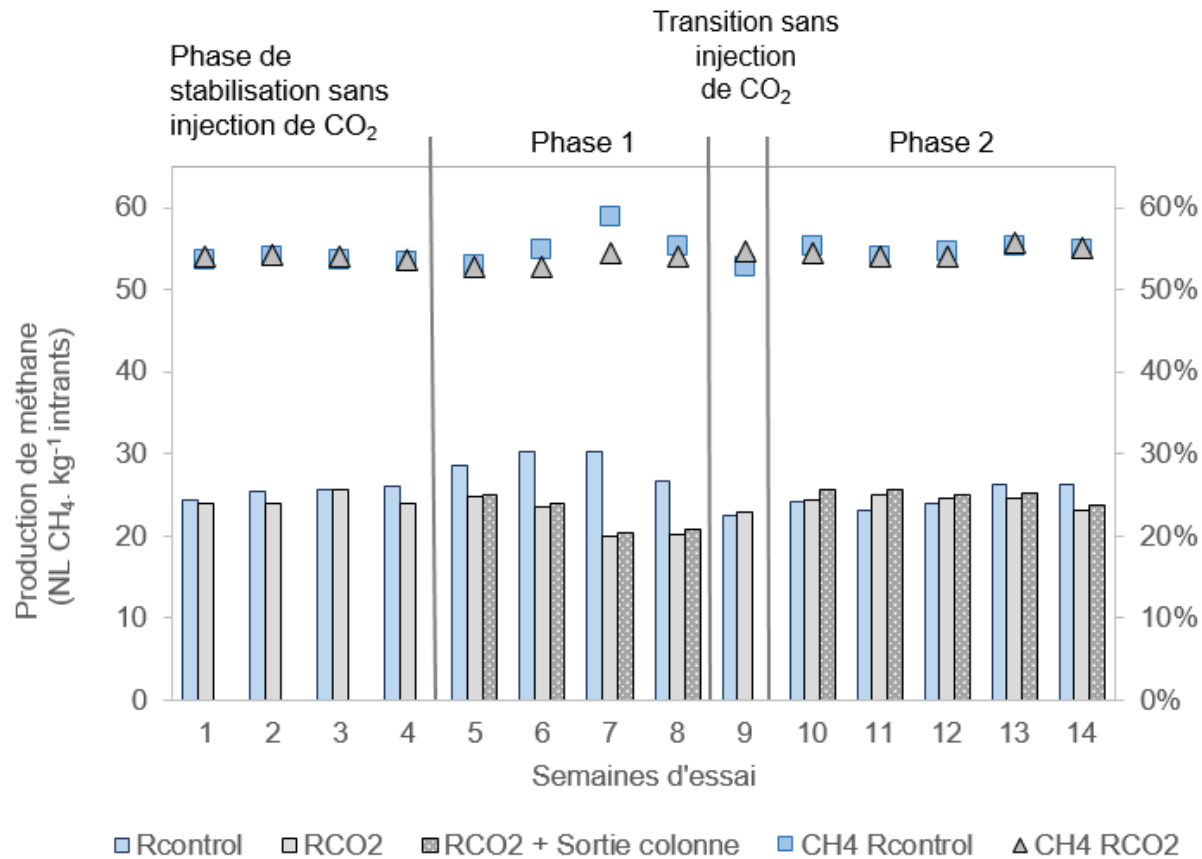
## **Phase 2**

Augmentation de  $34 \pm 6 \%$  de la concentration de CO<sub>2</sub> après injection  
 $14 \pm 3\%$  du CO<sub>2</sub> a été dissous



Amélioration de la dissolution en réduisant le débit appliqué et en augmentant la durée d'injection

# Résultats : production de méthane



Phase	Production en méthane (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t MSV)		Ecart / Rcontrol %	% CH <sub>4</sub> sortie colonne
	Rcontrol	RCO <sub>2</sub> + sortie colonne	RCO <sub>2</sub> + sortie colonne	
Phase 1	317 ± 18	246 ± 25	-22	5 ± 7
Phase 2	271 ± 16	274 ± 8	+1	8 ± 1

**Phase 1** : Productions significativement plus faibles pour le pilote avec injection de CO<sub>2</sub>  
Hypothèse : stripping H<sub>2</sub> lors du bullage

**Phase 2** : Productions comparables au témoin

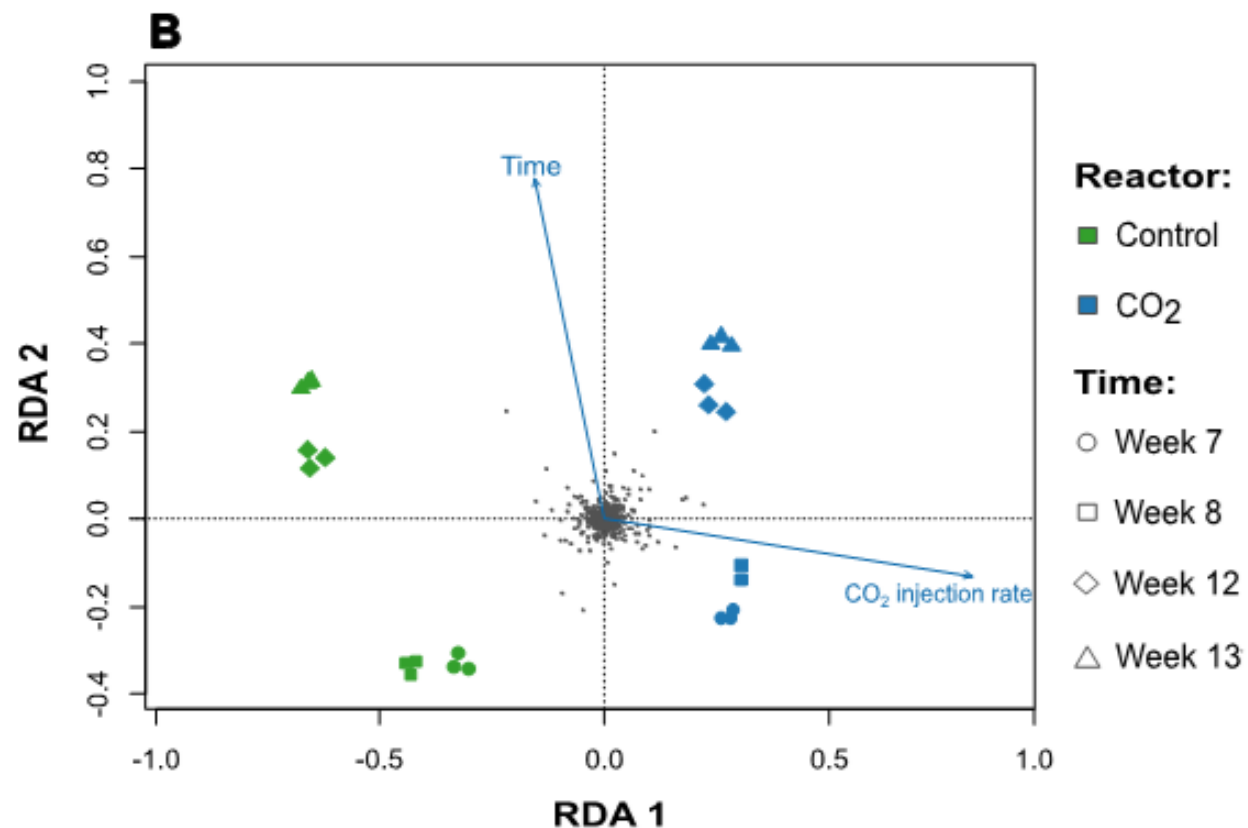
# Résultats : communautés microbiennes

## Analyse de redondance

Echantillons en triplicats prélevés les 2 dernières semaines de chaque phase (ARN)

Indices de diversité (Richness, Chao, Exponential of Shannon, and Inverse of Simpson) :

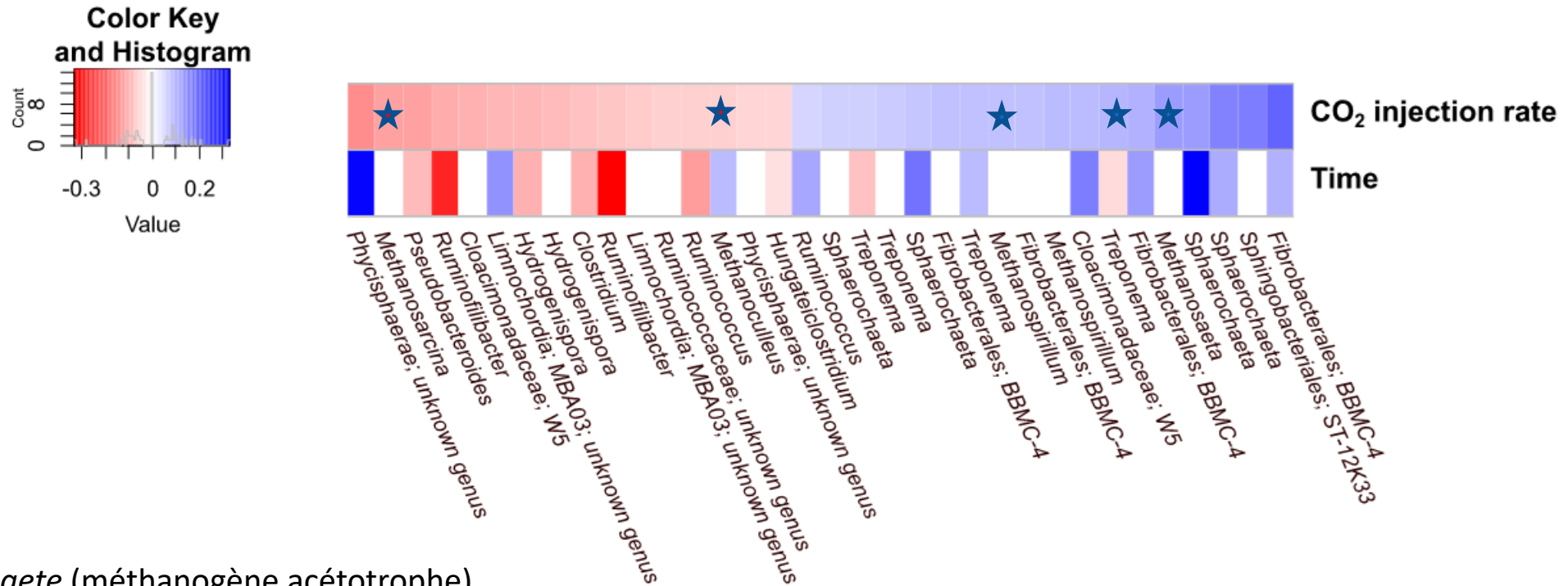
→ **Plus grande diversité des microorganismes actifs avec injection de CO<sub>2</sub>.**



- Impact du CO<sub>2</sub> sur les communautés microbiennes
- Evolution des communautés dans le temps pour les 2 réacteurs



# Résultats : communautés microbiennes



## Avec CO<sub>2</sub>

- + *Methanosaeta* (méthanogène acétotrophe)
- + *Methanospirillum* (méthanogène hydrogénotrophe)
- + *Treponema sp.* (SAOB ou homoacétogène) → Stimulation de l'homoacétogénèse (production d'acetate à partir du CO<sub>2</sub> et de l'H<sub>2</sub>) ?
- *Methanosarcina* (méthanogène polyvalente)
- *Methanoculleus* (méthanogène hydrogénotrophe)



Pas d'identification de modification des voies métaboliques pour la production de méthane avec injection de CO<sub>2</sub> (avec cette méthode)

Acétotrophes et hydrogénotrophes comparablement représentées dans le réacteur avec CO<sub>2</sub> (57% et 34%) et sans CO<sub>2</sub> (52% et 32%)

# Conclusion

Pas d'impact positif de l'injection du CO<sub>2</sub> montré au cours de cette étude  
colonne à bulles – intrants agricoles

## *Cohérent avec :*

- Alibardi et al. (2017) : Pas d'impact positif avec une colonne à bulles (Boues)
- Muntau et al. (2021) Augmentation de la production de méthane de  $6.3 \pm 12.2$  % (significatif) avec une charge organique de  $4 \text{ kg}_{\text{MVS}}/\text{m}^3/\text{j}$  - aucun bénéfice significatif n'est mesuré à plus faible charge (Boues)
- Bajón Fernández et al. (2015) : Augmentation de 5% (non significative) entre le pilote témoin et le pilote test (Biodéchets)

## Question :

→ Muntau et al. (2021) : présence nécessaire de substrats facilement biodégradables en quantité suffisante pour la formation intrinsèque de l'hydrogène par acidogénèse pour activer la conversion du CO<sub>2</sub> ?

# Références

- Bajón Fernández, Y., Soares, A., Villa, R., Vale, P., Cartmell, E., 2014. Carbon capture and biogas enhancement by carbon dioxide enrichment of anaerobic digesters treating sewage sludge or food waste. *Bioresource Technology* 159, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.02.010>
- Bajón Fernández, Y., Green, K., Schuler, K., Soares, A., Vale, P., Alibardi, L., Cartmell, E., 2015. Biological carbon dioxide utilisation in food waste anaerobic digesters. *Water Research* 87, 467–475. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.06.011>
- Al-mashhadani, M.K.H., Wilkinson, S.J., Zimmerman, W.B., 2016. Carbon dioxide rich microbubble acceleration of biogas production in anaerobic digestion. *Chemical Engineering Science* 156, 24–35. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2016.09.011>
- Alibardi, L., Green, K., Favaro, L., Vale, P., Soares, A., Cartmell, E., Bajón Fernández, Y., 2017. Performance and stability of sewage sludge digestion under CO<sub>2</sub> enrichment: A pilot study. *Bioresource Technology* 245, 581–589. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.071>
- Muntau, M., Lebuhn, M., Polag, D., Bajón-Fernández, Y., Koch, K., 2021. Effects of CO<sub>2</sub> enrichment on the anaerobic digestion of sewage sludge in continuously operated fermenters. *Bioresource Technology* 332, 125147. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125147>
- Zhang, M., Qiao, Z., Xu, S., Luo, L., Wong, J., Lü, F., Liu, H., 2023. Pulsed CO<sub>2</sub> feeding promotes methane yield in anaerobic digester by diverting acidogenic pathways. *Chemical Engineering Journal* 471, 144756. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.144756>

**JRI**  
**2024**

26 – 28 mars 2024 PAU



**Merci de votre attention**

Avec le soutien de

