



Avec le soutien de



Projet Biogaz-RIO



Financé par la région
Occitanie et le FEDER
(n°24001371)

AUGMENTER LA RÉSILIENCE ET LA PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DE LA MÉTHANISATION DE BIODÉCHETS ALIMENTAIRES À L'AIDE DE BIOCHAR ET DE SOLUTIONS INDUSTRIELLES D'ÉLÉMENTS-TRACES

M. SANGLIER¹, A. LEURENT², R. MOSCOVIZ², M. ROUEZ², A. BATTIMELLI¹, F. GUILAYN², R. ESCUDIE¹



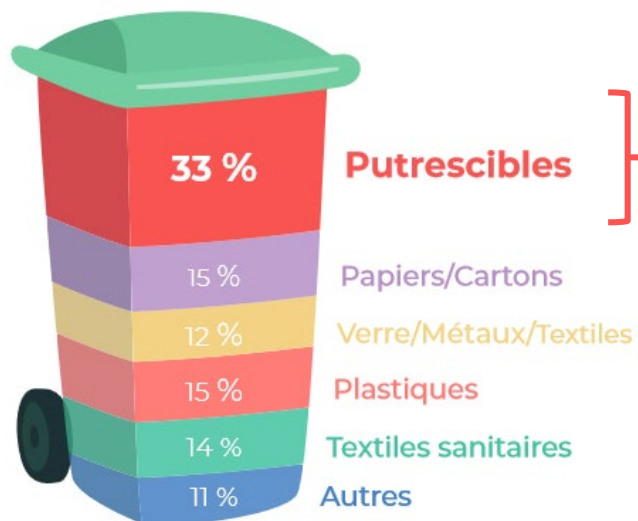
1 : LBE, INRAE, Univ Montpellier, 102 Avenue des Etangs, 11100 Narbonne, France.



2 : SUEZ, CIRSEE, 38 rue du Président Wilson, 78230 Le Pecq, France.



Les déchets alimentaires en France



Source : [1] [2]

Biodéchets dans les ordures ménagères :
~ 5 millions tonnes/an → **83 kg/hab/an** [1]
(sans prendre en compte déchets industrie agro-alimentaire)

Si valorisés par méthanisation :

- 500 millions Nm³ CH₄
- 5 TWh chaleur [2]

→ Carburant pour **20 000** bus
(il y a ~100 000 bus et cars en France)

ou

→ Chauffage pour **1.3 million** de foyers
(il y a ~30 millions de foyers en France)

DIRECTIVE (EU) 2018/851
Article 22(1) :

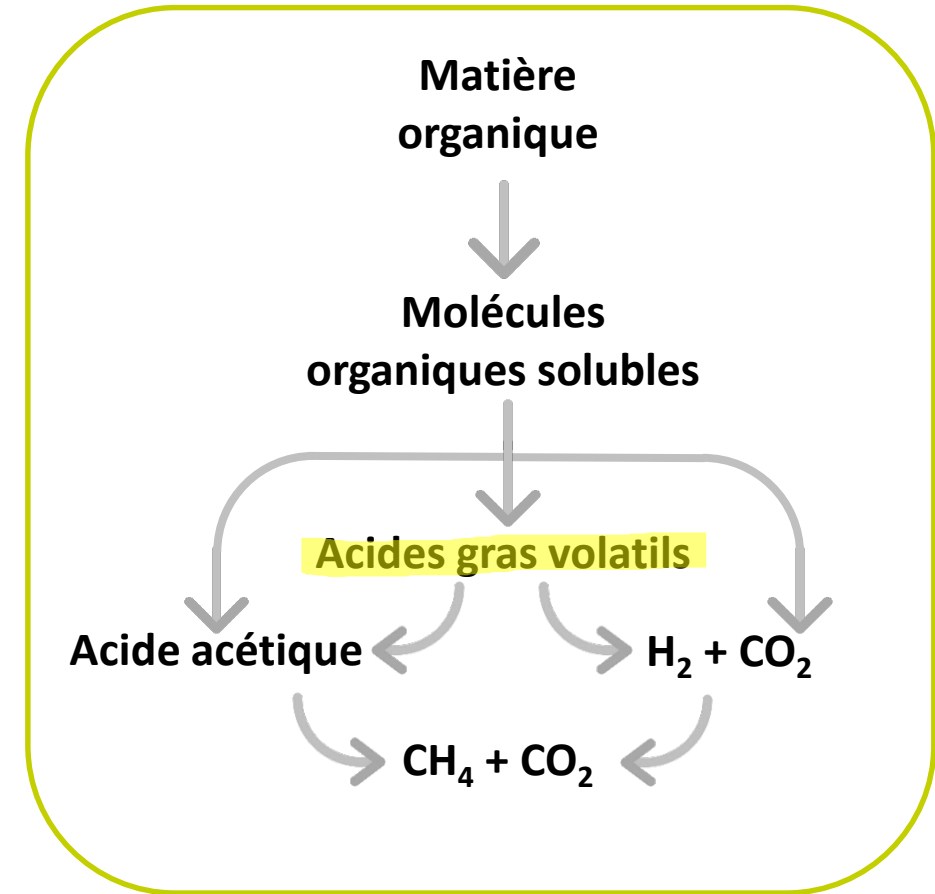
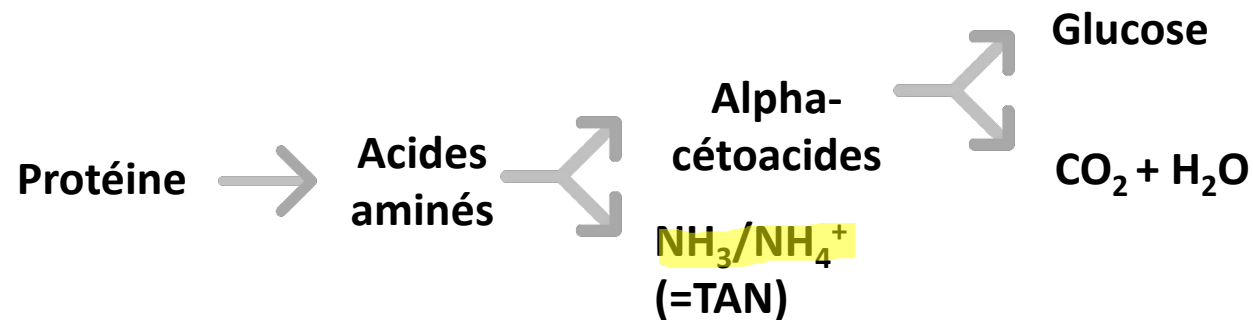
Member States shall ensure that, by 31 December 2023 and subject to Article 10(2) and (3), bio-waste is either separated and recycled at source, or is collected separately and is not mixed with other types of waste.

[1]: ADEME, 2017, "MODECOM 2017 : Campagne nationale de caractérisation des déchets ménagers et assimilés"

[2]: GRDF, Espelia, Solagro, ADEME, 2021, "Biodéchets : du tri à la source jusqu'à la méthanisation"

Les défis de la méthanisation de déchets alimentaires

- Matière très **fermentescible** : risque d'inhibition par les **acides gras volatils** (AGV)
- Fort taux de **protéines** : risque d'inhibition par l'**ammoniac** (NH_3)



Les défis de la méthanisation de déchets alimentaires

Solutions couramment utilisées :

- **Co-digestion** MAIS interdiction à venir pour mélange biodéchets triés à la source avec autres déchets (e.g. boues de STEP)
- **Dilution** MAIS augmentation coûts opérationnels et réduction de la qualité du digestat

Solution étudiée dans le cadre du projet Biogaz-RIO :

- Méthanisation « **voie sèche** » (pâteuse), sans ajout d'eau
- Utilisation d'**additifs** pour contrer les inhibitions

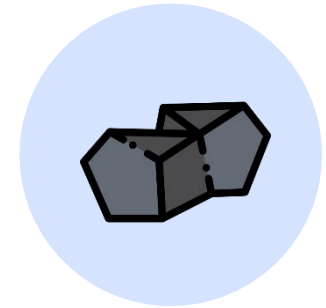


Additifs pour améliorer les performances de la méthanisation de déchets alimentaires

Biochar (matière organique pyrolysée)

- Pouvoir **tampon pH**
- Adsorption **ammoniac** (et autres inhibiteurs)
- Support pour **échange direct d'électrons** entre microorganismes (DIET) et pour formation de **biofilm**
- ...

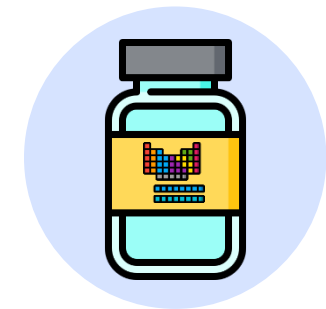
[3]



Éléments-traces

Les déchets alimentaires sont **pauvres** en éléments-traces, dont certains (Se, Co, Mo...) sont essentiels pour la synthèse d'**enzymes** impliqués dans la méthanisation

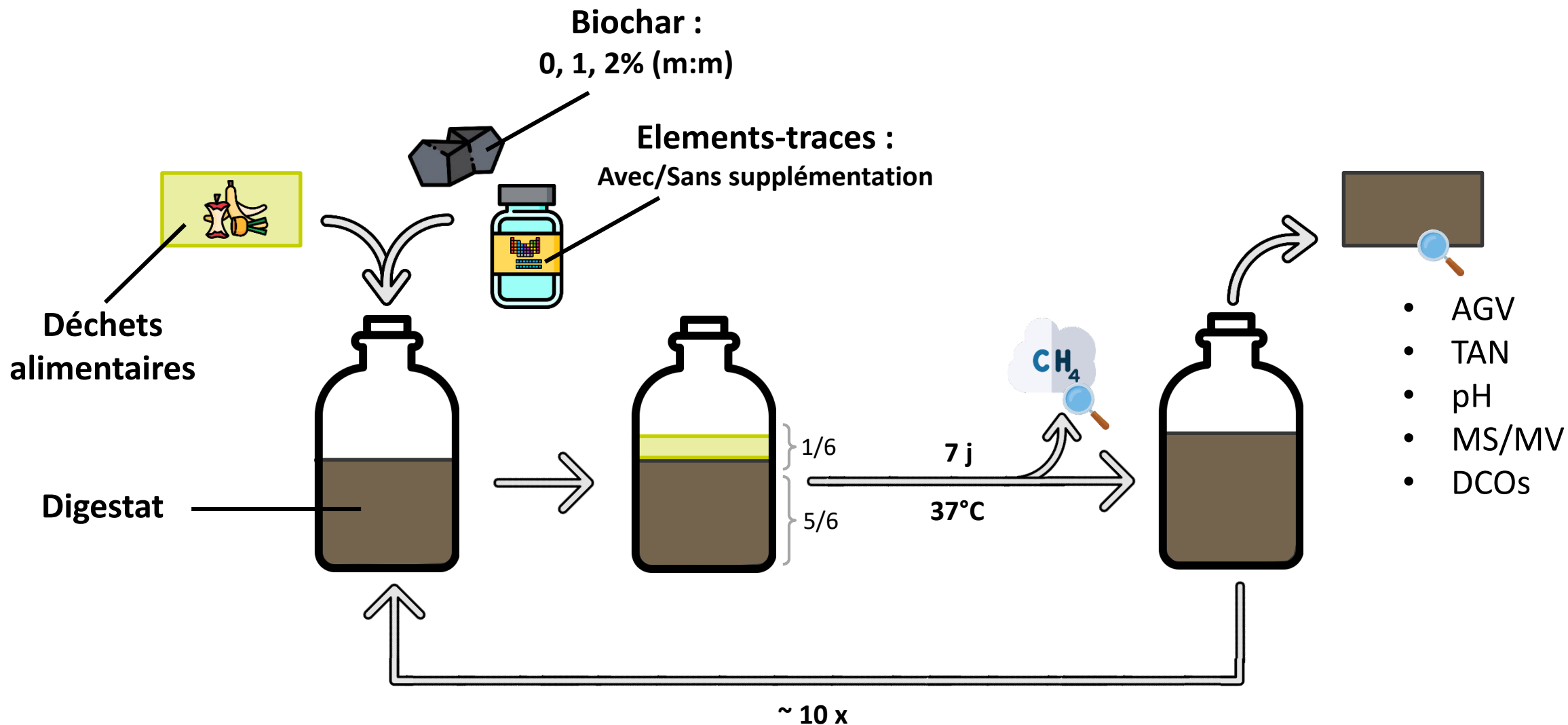
[4]



[3] Chiappero et al., 2020, "Review of biochar role as additive in anaerobic digestion processes", Renewable and Sustainable Energy Reviews.

[4] Banks et al., 2012, "Trace element requirements for stable food waste digestion at elevated ammonia concentrations", Bioresource Technology

Plan d'expérience



Plan d'expérience

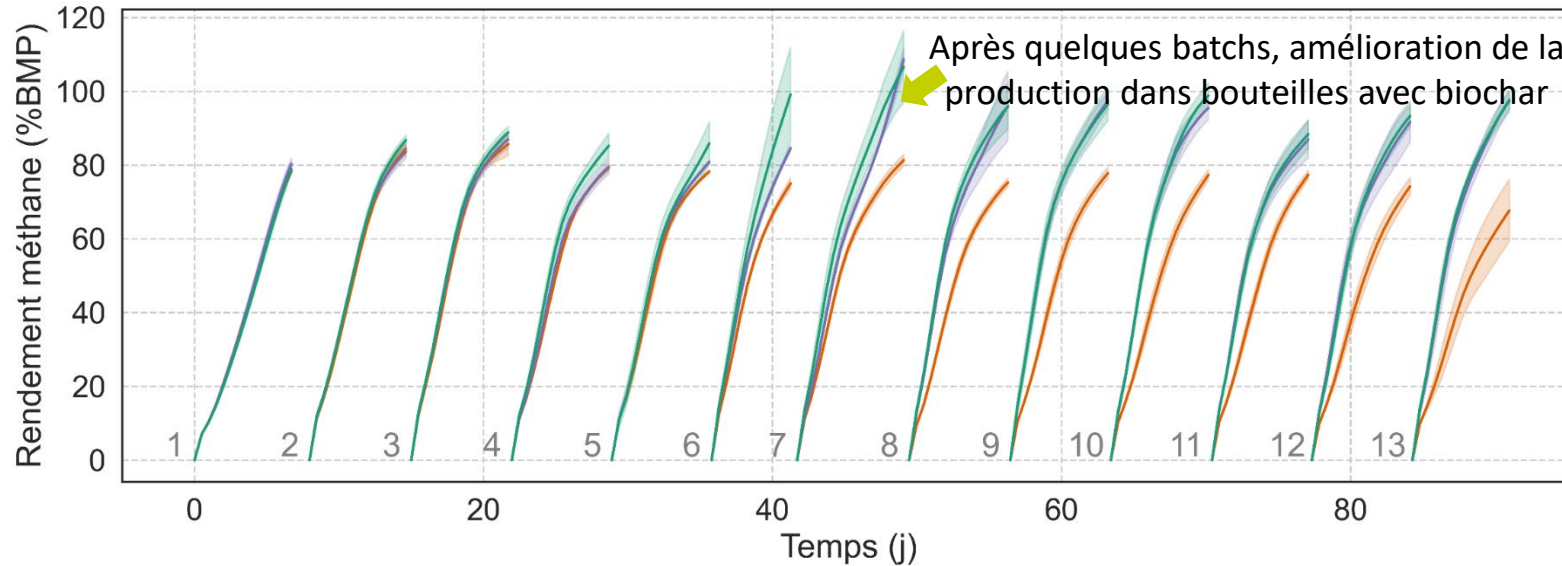
- Système AMPTS (mesure continue du volume de méthane produit)
- Volume utile : 250 mL
- Substrat : déchets alimentaires (ménagers ou commerciaux)
- Charge : 1 - 4.5 kgMV/m³/j
- Solutions d'éléments-traces : préparée d'après [5] ou produite sur-mesure par Celtic Chemicals
- Biochar de pin : 0, 1 ou 2% (m:m) (faible dose préférable [6])
- 3 réplicats par condition (au moins)



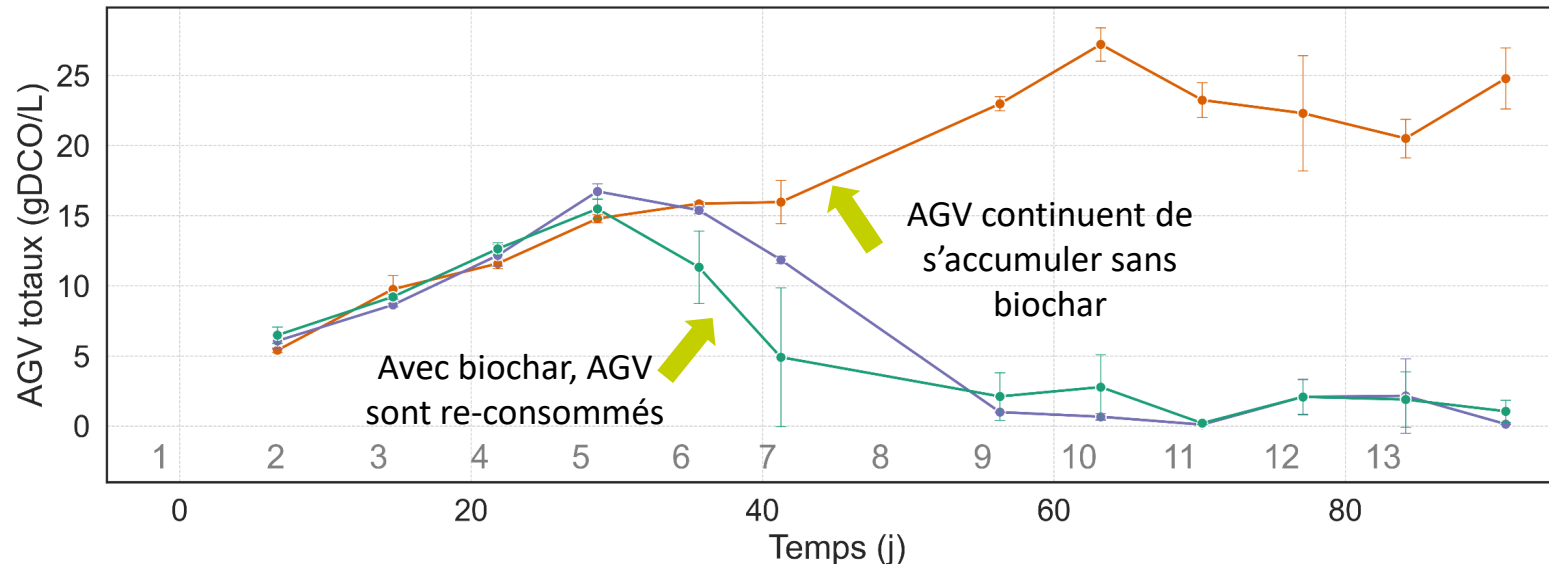
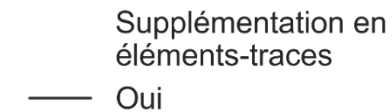
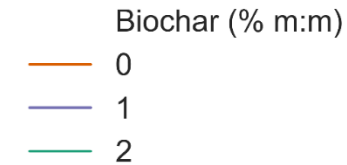
[5] Angelidaki et al, 2009. "Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays". Water Science and Technology

[6] Guilayn et al., 2021, "Biochar for enhancing anaerobic digestion of food waste", présenté à 8th International Conference on Engineering for Waste and Biomass Valorisation

Déchets alimentaires ménagers

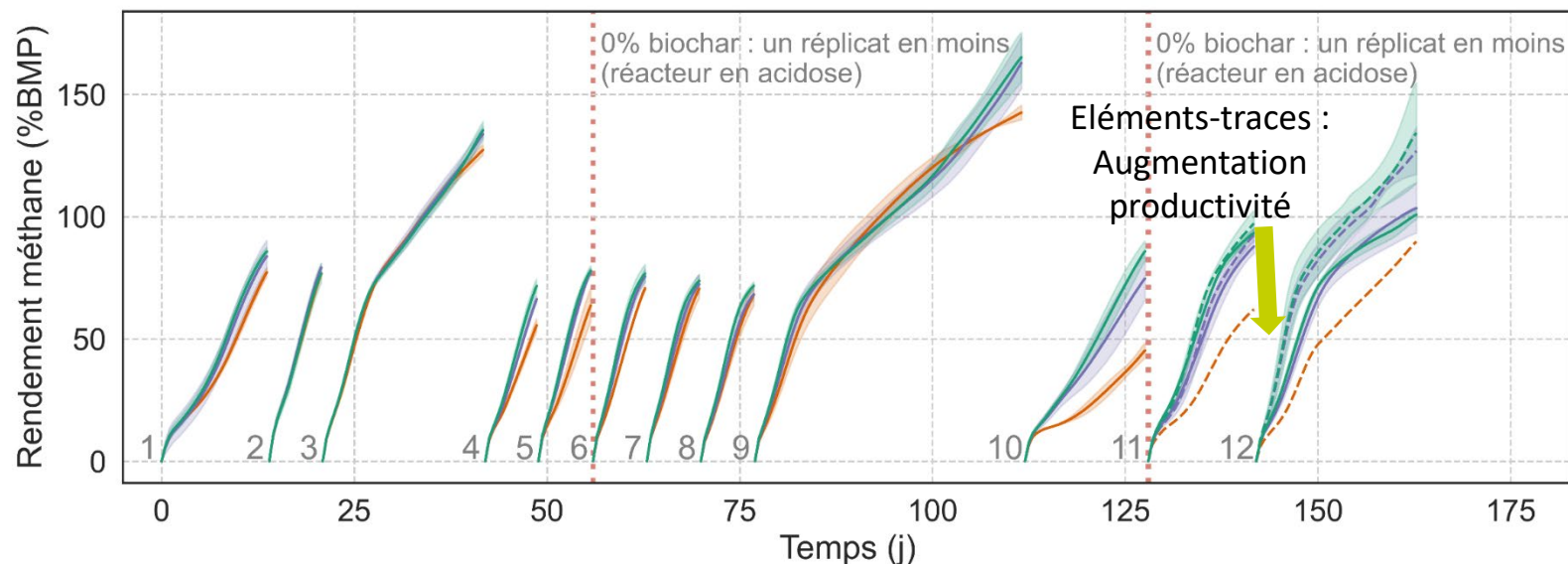


- **TAN** : ~3 g/L
- **AGV** : principalement propionate



- Biochar permet re-consommation des AGV et amélioration du rendement méthane

Déchets alimentaires commerciaux



- **TAN** : ~5 g/L
- **AGV** : principalement propionate

Biochar (% m:m)

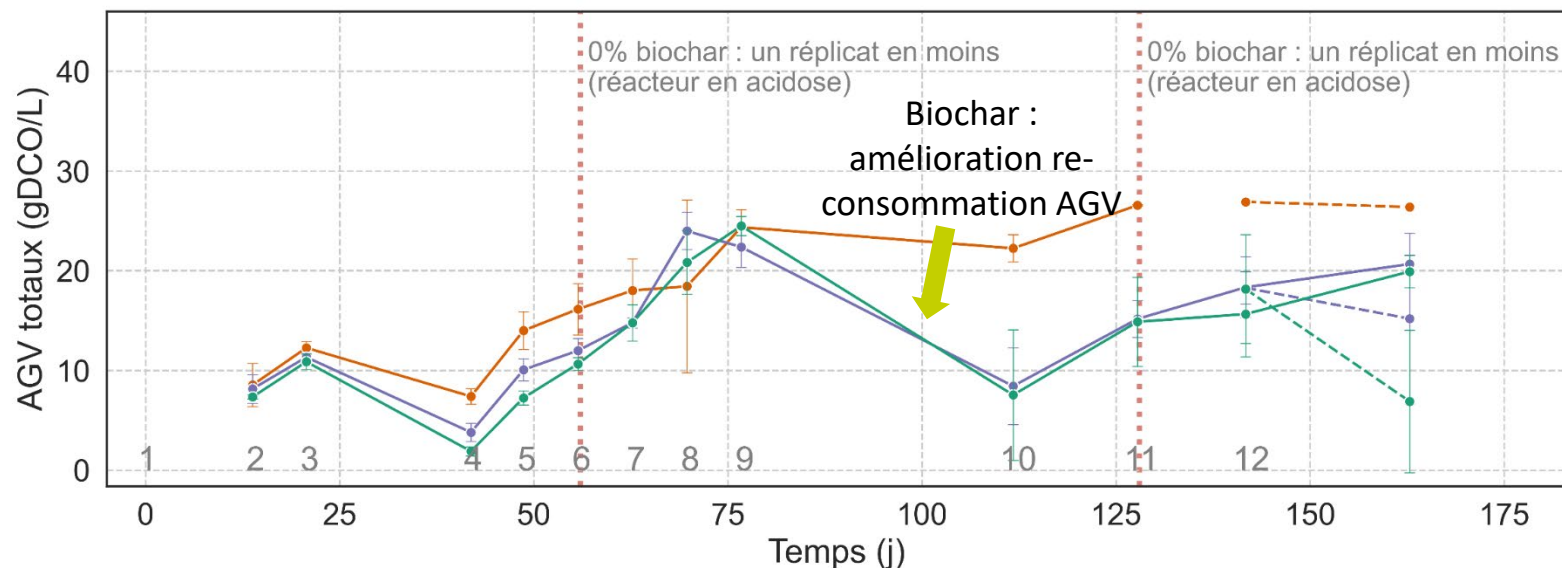
- 0
- 1
- 2

Supplémentation en éléments-traces

- Non
- Oui

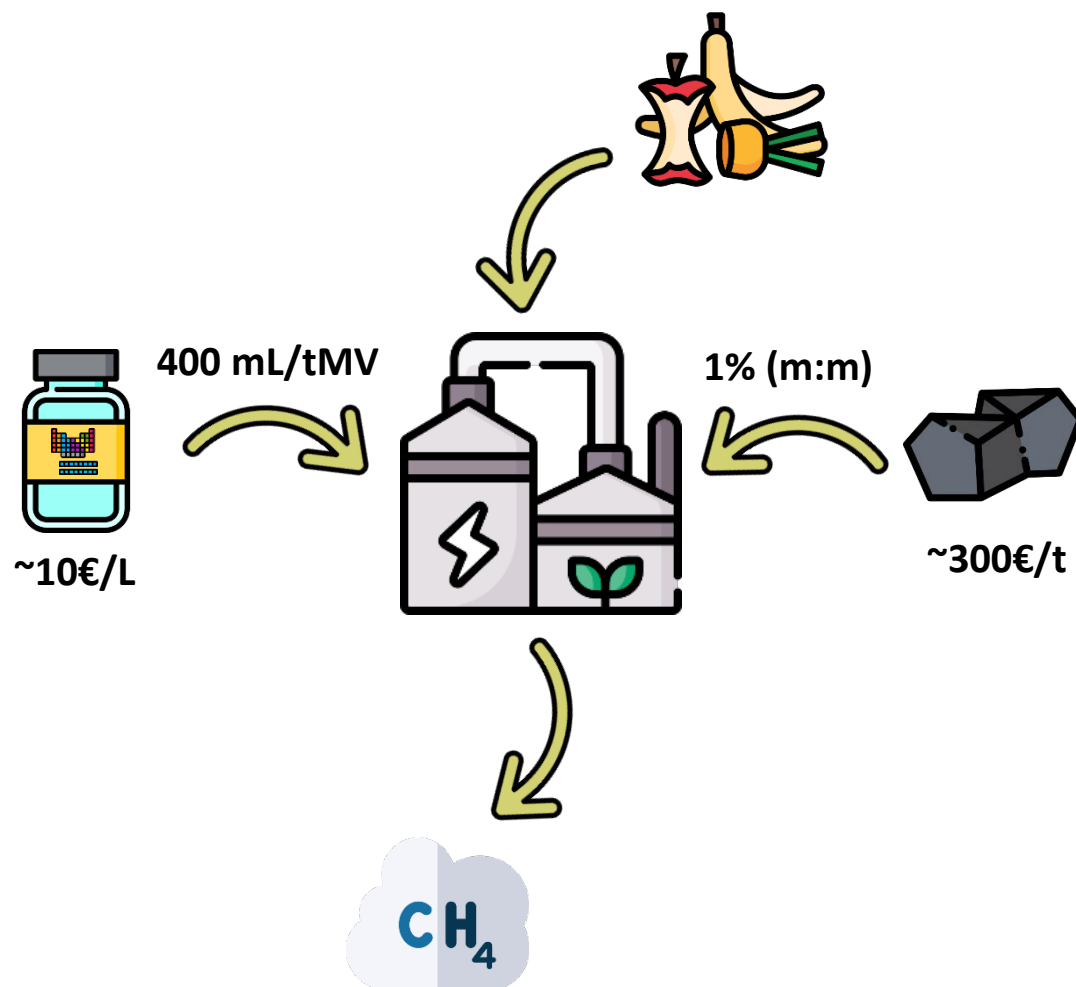
- **Biochar** : effet long-terme

3 conditions sans biochar : 2 en acidose
12 conditions avec biochar : 0 en acidose



- **Eléments-traces** : effet très rapide

Coût du biochar et des éléments-traces



- Coût moyen production **1 MWh à partir de CH_4** : 90-120€ [7]

Avec doses de supplémentation indiquées, pour produire 1 MWh à partir de CH_4 il faut :

- 13.9 kg de biochar (**4.2€**)
- 100 mL de solution d'éléments-traces (**1.0€**)

→ soit **4.3-5.7%** des coûts de production

Conclusion et perspectives

- **Biochar** : effet à moyen/long-terme, re-consommation AGV (propionate), empêche acidose
- **Elements-traces** : effet rapide, augmentation productivité méthane

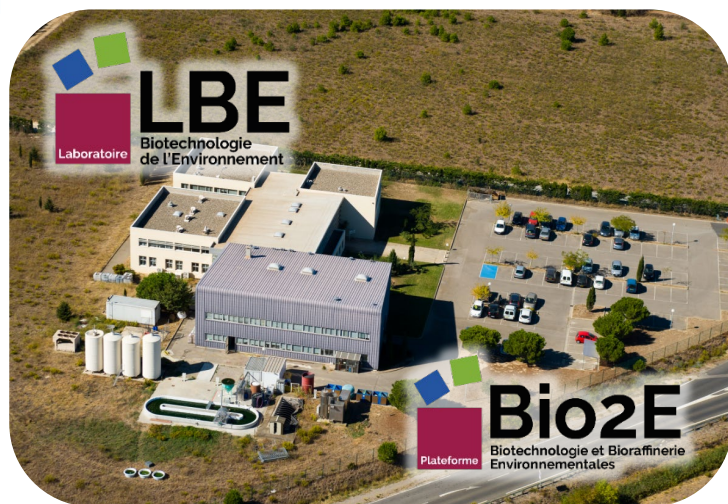


→ Pour ~5% des coûts de production, supplémentation en biochar + éléments-traces permet d'augmenter la robustesse et la résilience du méthaniseur

En cours/A venir :

- Etude de l'évolution des populations pendant les batchs (séquençage 16S)
- Scale-up (pilote 5 m³)
- Etude du devenir de bactéries pathogènes pendant la méthanisation de déchets alimentaires
- Etude du post-traitement du digestat

MERCI DE VOTRE ATTENTION !



Projet **Biogaz-RIO**

INRAE



Financé par la région
Occitanie et le FEDER
(n°24001371)



Source illustrations : www.flaticon.com

Artistes : BomSymbols, Dimitry Mirolubov, Freepik, iconixar, Smashicons, surang

Annexes

Solution d'éléments traces BRL :

0,5 g/L EDTA

2 g/L $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

50 mg/L H_3BO_3

50 mg/L ZnCl_2

40 mg/L $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

50 mg/L $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

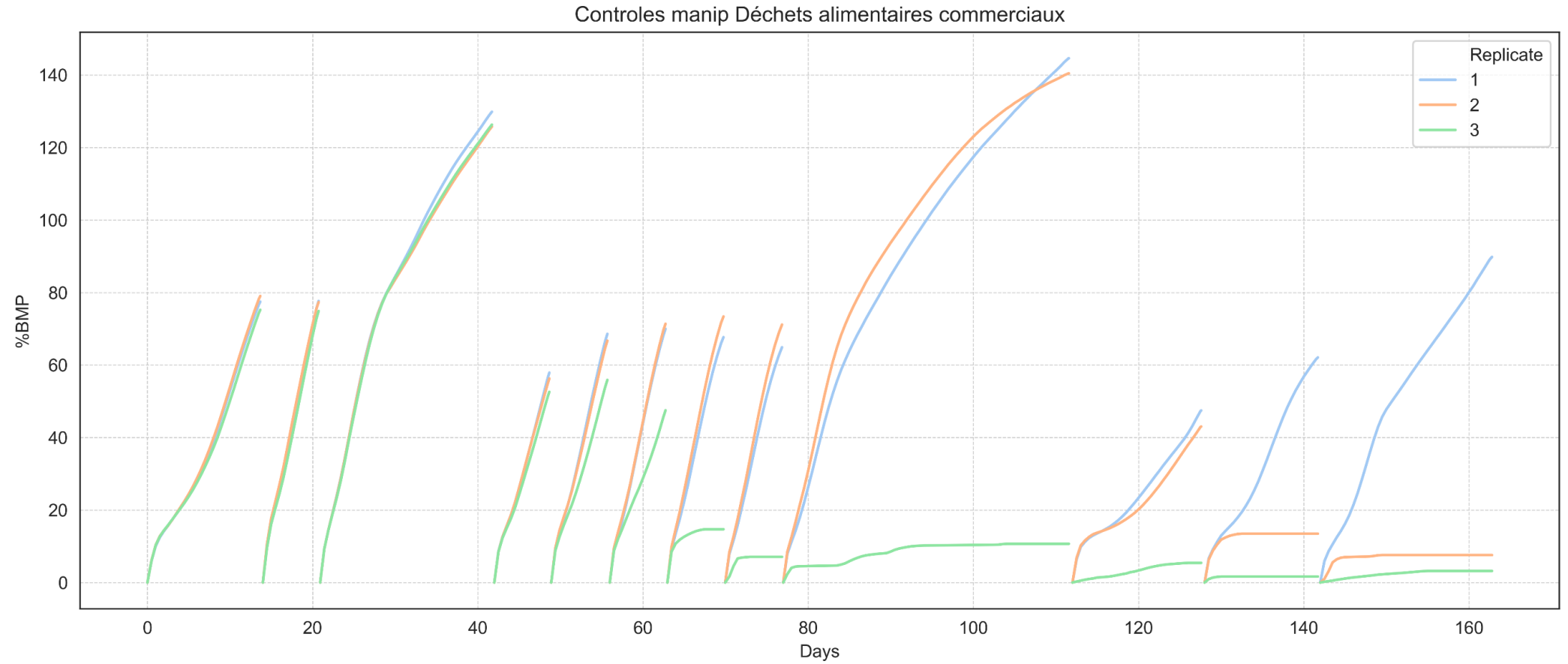
50 mg/L $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

50 mg/L AlCl_3 , 50 mg/L $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

100 mg/L $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

100 mg/L $\text{Na}_2\text{SeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

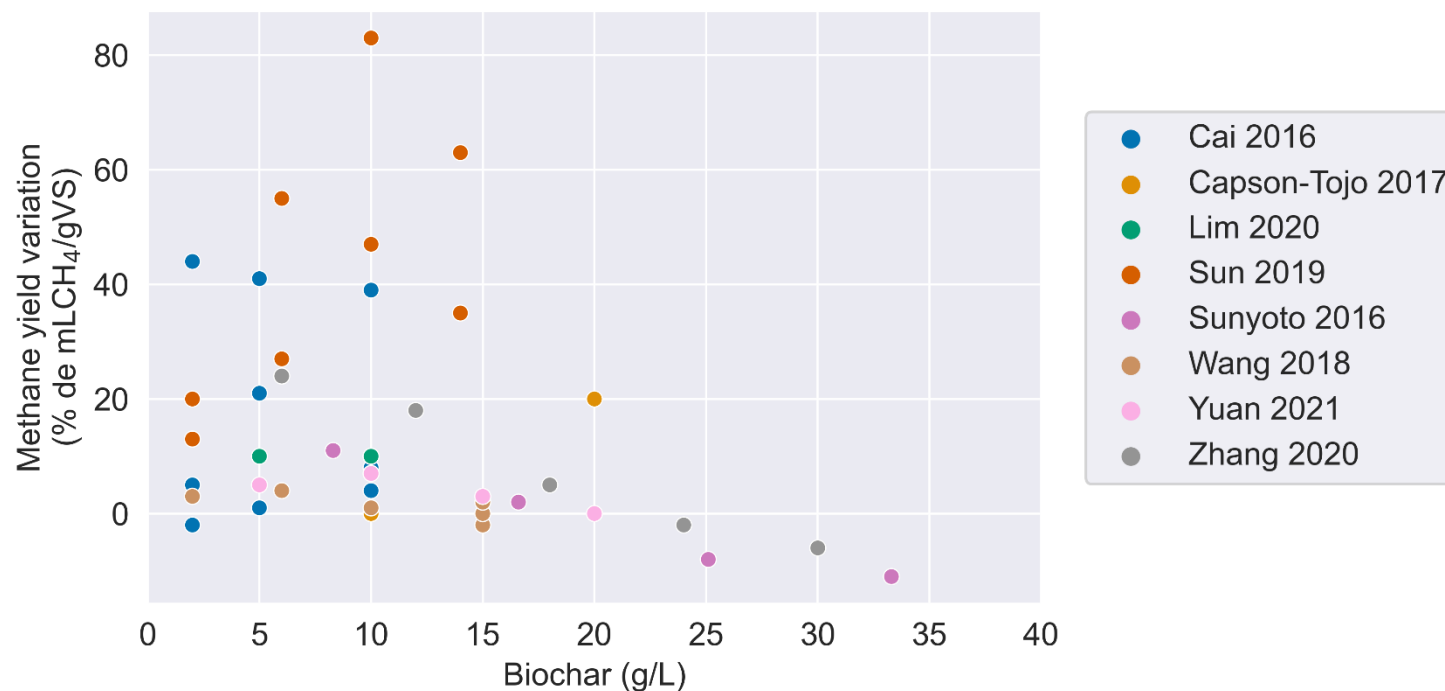
Annexes



Annexes

1	PCS CH4 (kWh/Nm3)	10
2	CH4 pour 1 MWh (Nm3)	100
3		
4	BMP DA (mLCH4/gMV)	400
5	MV DA (%MB)	0.18
6	DA pour 1 Nm3 CH4 (kgMB)	13.9
7		
8	Dose biochar (% m:m)	1.00%
9	Dose ETM (mL/tMV)	400
0	Prix biochar (€/t)	300
1	Prix ETM Celtic (€/L)	10
2	Biochar pour 1 Nm3 CH4 (kg)	0.1
3	ETM pour 1 Nm3 CH4 (L)	0.001
4	Coût biochar pour 1 Nm3 CH4 (€)	0.042
5	Coût ETM pour 1 Nm3 CH4 (€)	0.01
6		
7	Coût biochar pour 1 MWh CH4 (€)	4.2
8	Coût ETM pour 1 MWh CH4 (€)	1.0
9	Coût biochar + ETM pour 1 MWh CH4 (€)	5.2
0	Coût moyen production 1 MWh CH4 (€)	90
1		
2		5.74%

Annexes



→ L'augmentation de la concentration en biochar n'est pas forcément bénéfique

Amélioration du rendement méthane (avec biochar vs. sans biochar) pendant la méthanisation de déchets alimentaires [6]