



## Amélioration de la stabilité du procédé de biométhanation *in situ* par addition de biochar ou de charbon actif lors d'une surcharge organique

M. Mahieux<sup>1,2</sup>, Q. Aemig<sup>2</sup>, C. Richard<sup>2</sup>, M. Zbair<sup>3</sup>, J-P. Delgenès<sup>1</sup>, M. Juge<sup>2</sup>, L. Limousy<sup>3</sup>, S. Bennici<sup>3</sup>, E. Trably<sup>1</sup>, R. Escudié<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INRAE, Univ. Montpellier, LBE, 102 Avenue des étangs, F-11100, NARBONNE, France

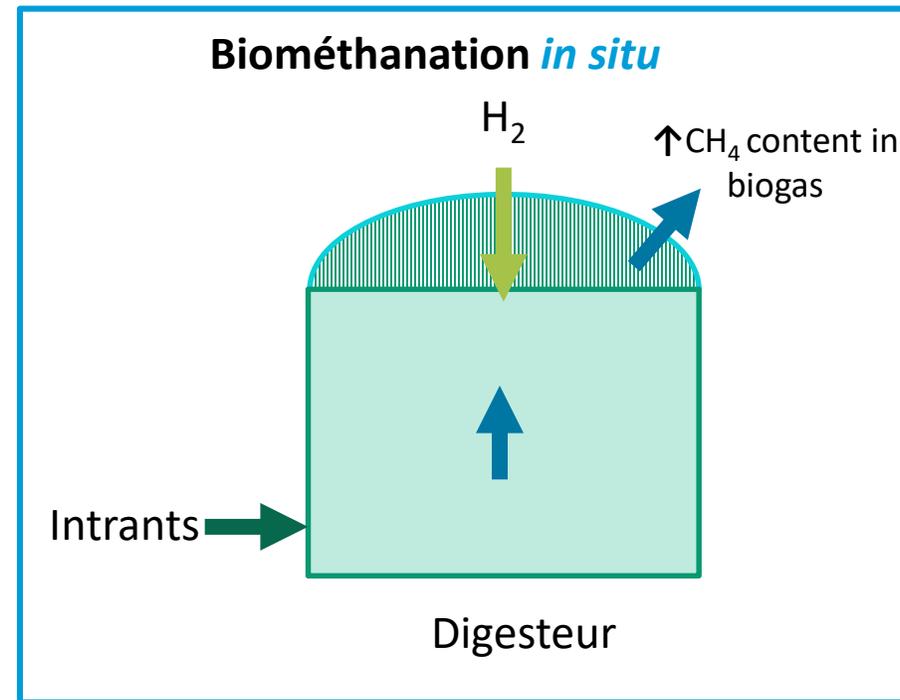
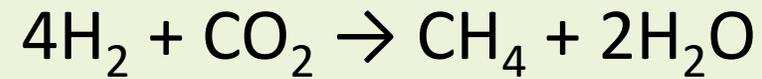
<sup>2</sup> ENGIE, Lab CRIGEN, 4 Rue Joséphine Baker, 93240 STAINS, France

<sup>3</sup> Université de Haute-Alsace, CNRS, IS2M UMR 7361, F-68100 Mulhouse, France, Université de Haute Alsace (UHA), 68093 Mulhouse, France



# La Biométhanation *in situ* : mise en contexte

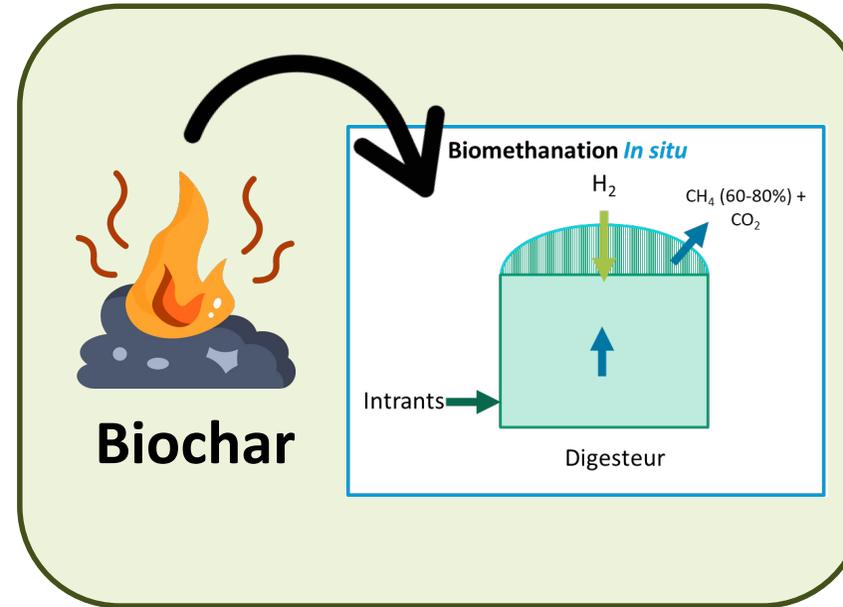
**Biométhanation** : Procédé visant à enrichir le biogaz produit au cours de la digestion anaérobie par injection d'hydrogène



# L'utilisation de biochar en biométhanation *in situ*

## Propriétés reportées :

- Tampon
- CO<sub>2</sub> dissous
- Matériau conducteur
- Support biofilm
- Adsorbant d'inhibiteurs



## Impact sur le Procédé :

- pH stabilisé
- Adaptation microbienne
- Consommation AGV
- Accessibilité CO<sub>2</sub>

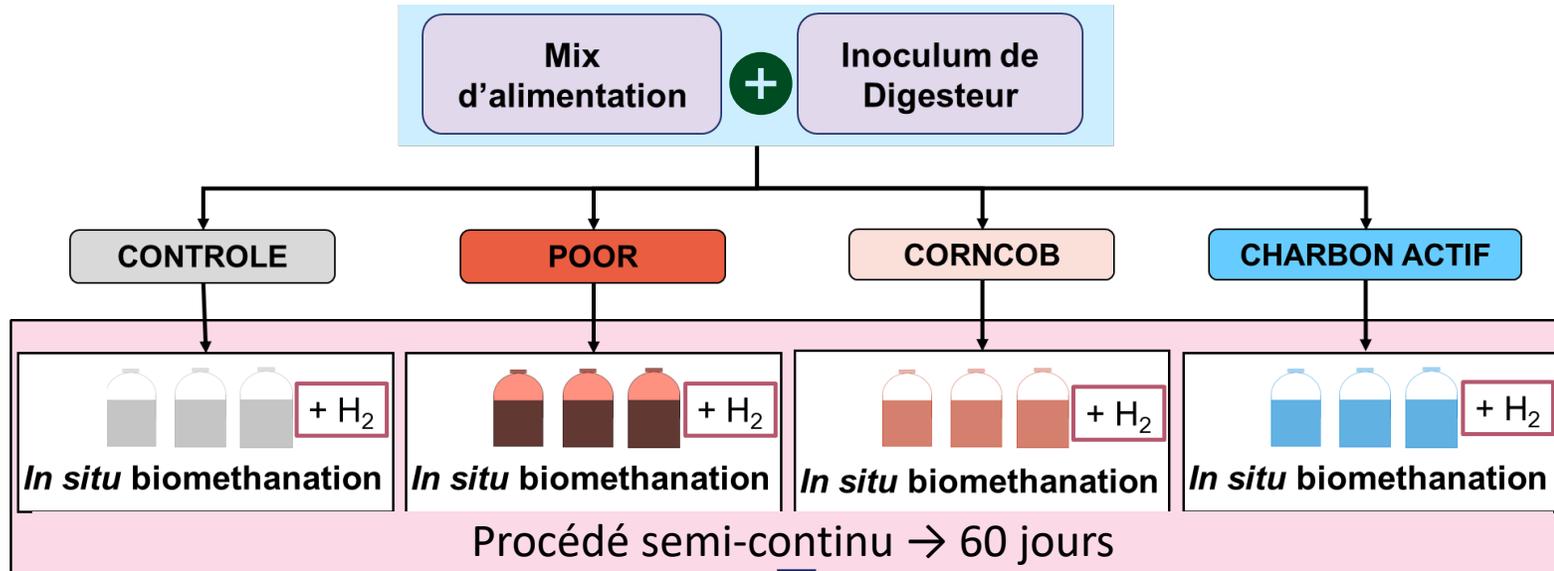
→ Mais des effets nécessitant une adaptation sur un long temps de procédé

Quelles sont les propriétés d'intérêt du biochar en biométhanation *in situ* ?

Caractérisation	Poor	CornCob	Charbon Actif
pH	Alcalin +	Alcalin +/-	Acide / Neutre -
Propriétés physiques (surface spécifique, taille de pores)	+/-	+/-	++
Richesse en macro et oligoéléments	++	++	-
Carbone Fixe (%)	-	+/-	+/-
MV (%)	+/-	+/-	-
Cendre (%)	+/-	-	+

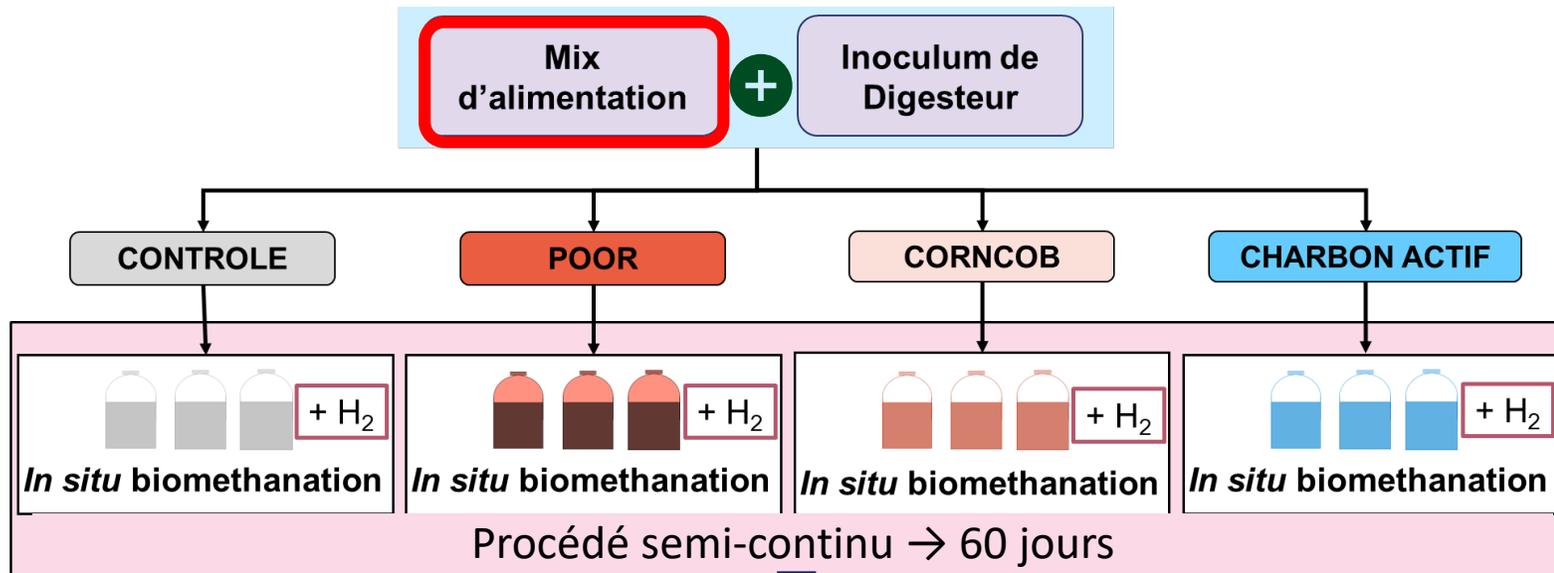
# Plan expérimental : Procédé mis en place

Quel est l'effet de l'addition de biochar sur le procédé de biométhanation *in situ* ?  
En période stabilisé



# Plan expérimental : Procédé mis en place

Quel est l'effet de l'addition de biochar sur le procédé de biométhanation *in situ* ?  
En période stabilisé



## Mix d'alimentation

Fumier

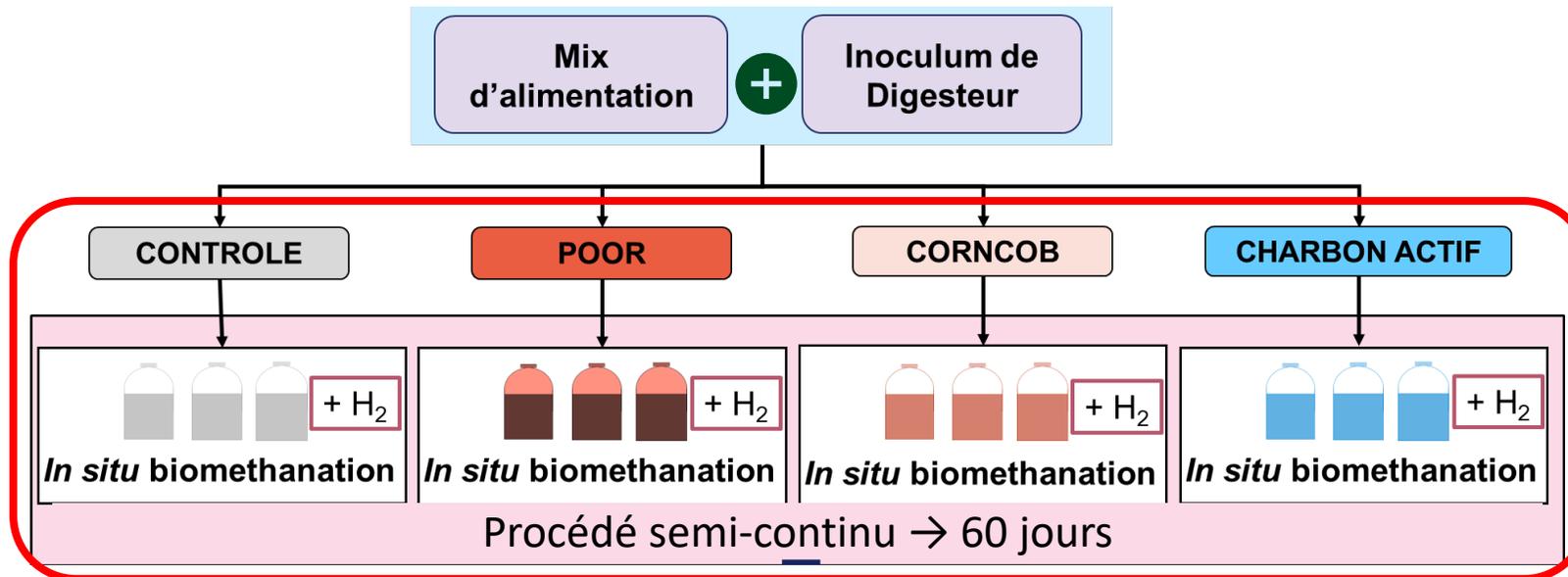
Lisier

CIVE

Biodéchets

# Plan expérimental : Procédé mis en place

Quel est l'effet de l'addition de biochar sur le procédé de biométhanation *in situ* ?  
En période stabilisé



## Mix d'alimentation

Fumier

Lisier

CIVE

Biodéchets

## Paramètres

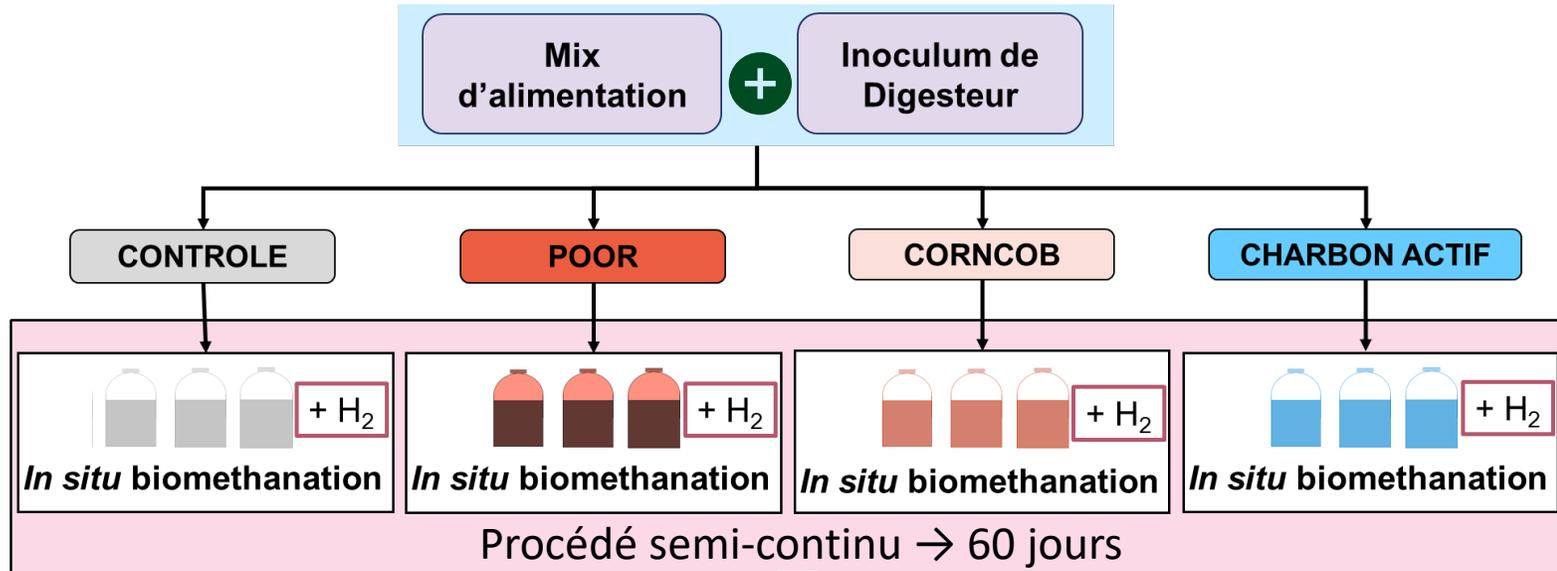
## Valeurs

Paramètres	Valeurs
TRH	30 jours <sup>-1</sup>
CVA	1,5g MV.L <sup>-1</sup> .jours <sup>-1</sup>
Température	35 °C
Injection d'H <sub>2</sub>	1 → 1,450 Bar
Biochars	10 g.L <sup>-1</sup>

CVA : Charge Volumique Appliquée  
TRH : Temps de Rétention Hydraulique

# Plan expérimental : Procédé mis en place

Quel est l'effet de l'addition de biochar sur le procédé de biométhanation *in situ* ?  
En période stabilisé vs En phase de surcharge organique



## Mix d'alimentation

Fumier

Lisier

CIVE

Biodéchets

Paramètres	Valeurs
TRH	30 jours <sup>-1</sup>
CVA	1,5g MV.L <sup>-1</sup> .jours <sup>-1</sup>
Température	35 °C
Injection d'H <sub>2</sub>	1 → 1,450 Bar
Biochars	10 g.L <sup>-1</sup>

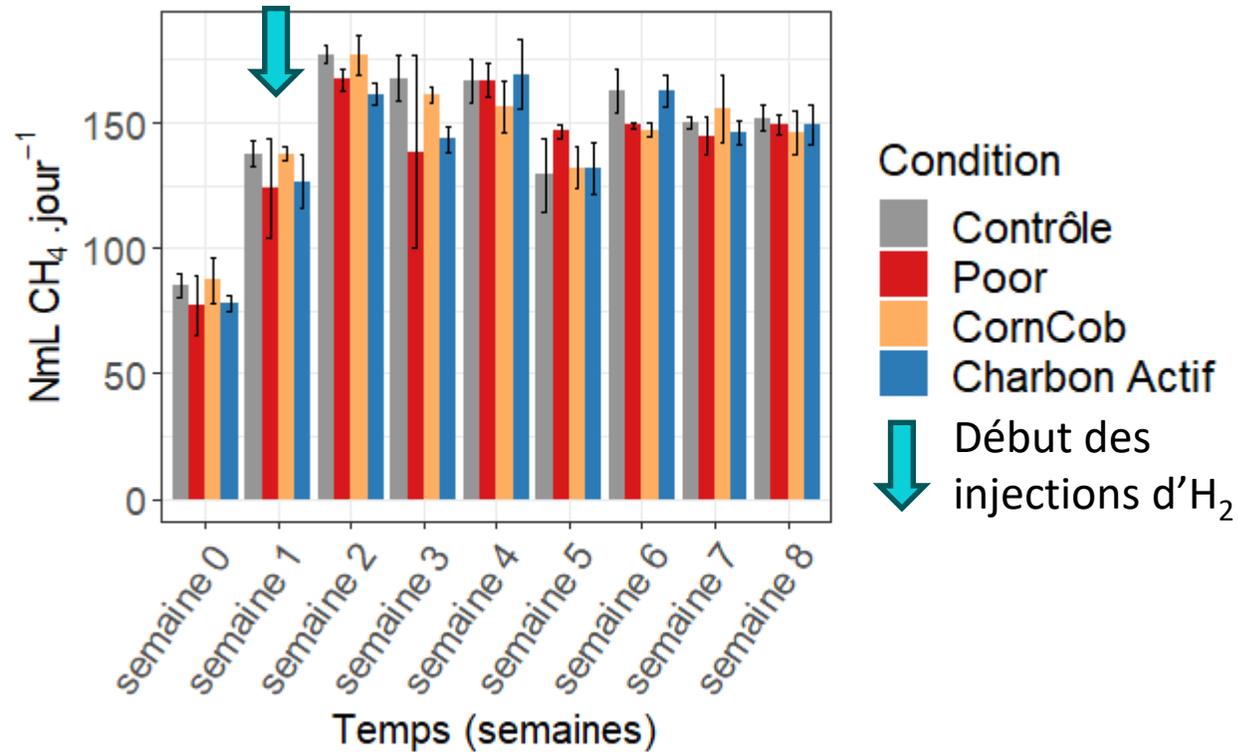
Mise en place d'une surcharge organique  
Procédé semi-continu de 15 jours

CVA 1,5 → 2,5 g MV.L<sup>-1</sup>.jours<sup>-1</sup>  
Ajout de Lactosérum dans le Mix d'alimentation

CVA : Charge Volumique Appliquée

TRH : Temps de Rétention Hydraulique

# Quel est l'effet de l'addition de biochar sur le procédé en période stabilisé ?



## Suivi pH

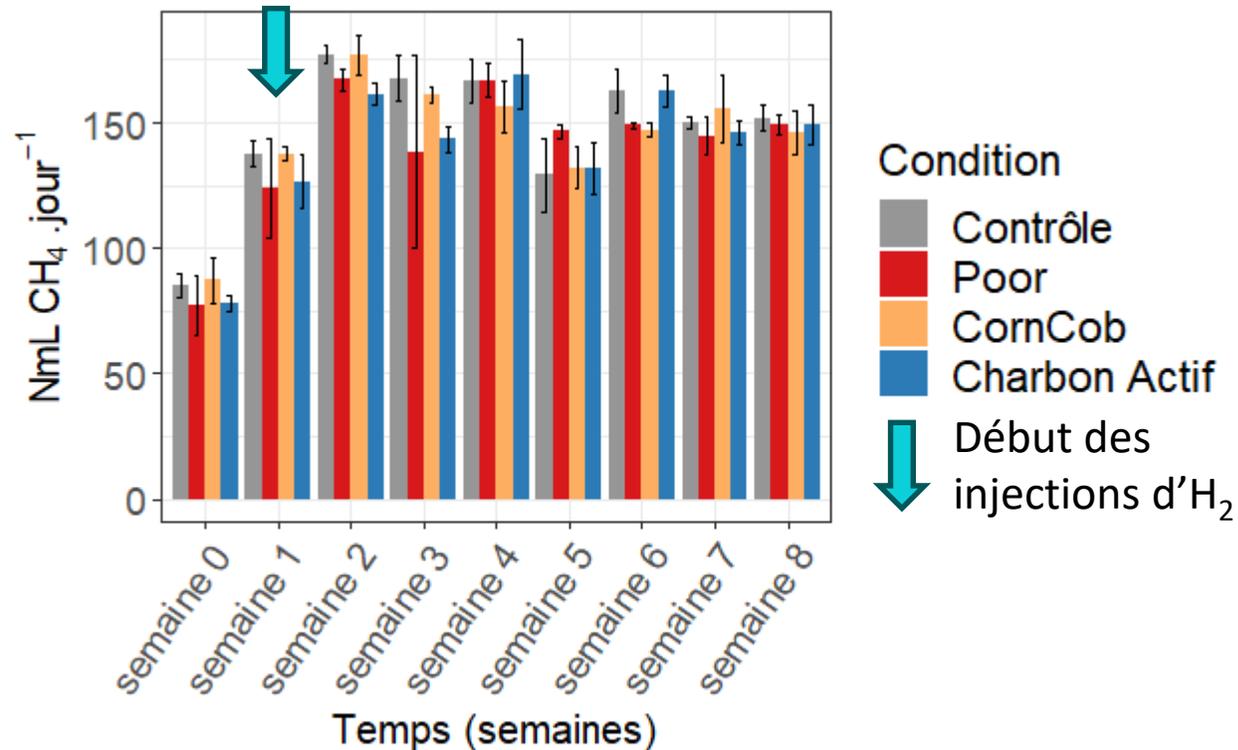
→ pH initial de 7,5

→ pH de 7,3 de Semaine 1 à 8

## Suivi Acides Gras Volatiles (AGV)

→ Pas d'AGV produits de Semaine 1 à 8

# Quel est l'effet de l'addition de biochar sur le procédé en période stabilisé ?



## Suivi pH

→ pH initial de 7,5

→ pH de 7,3 de Semaine 1 à 8

## Suivi Acides Gras Volatiles (AGV)

→ Pas d'AGV produits de Semaine 1 à 8

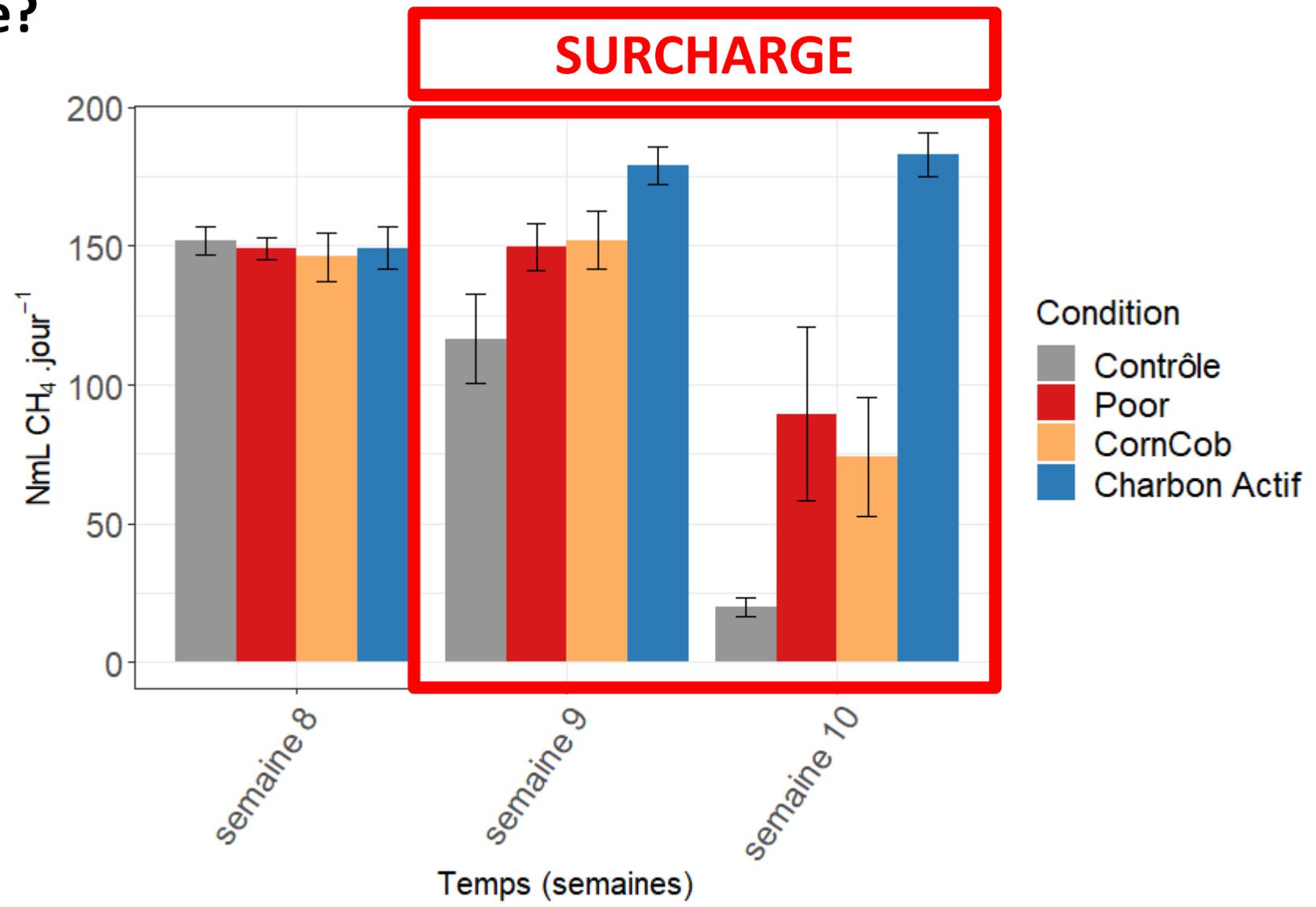
## Résultats

→ Pas d'effet en phase stabilisée

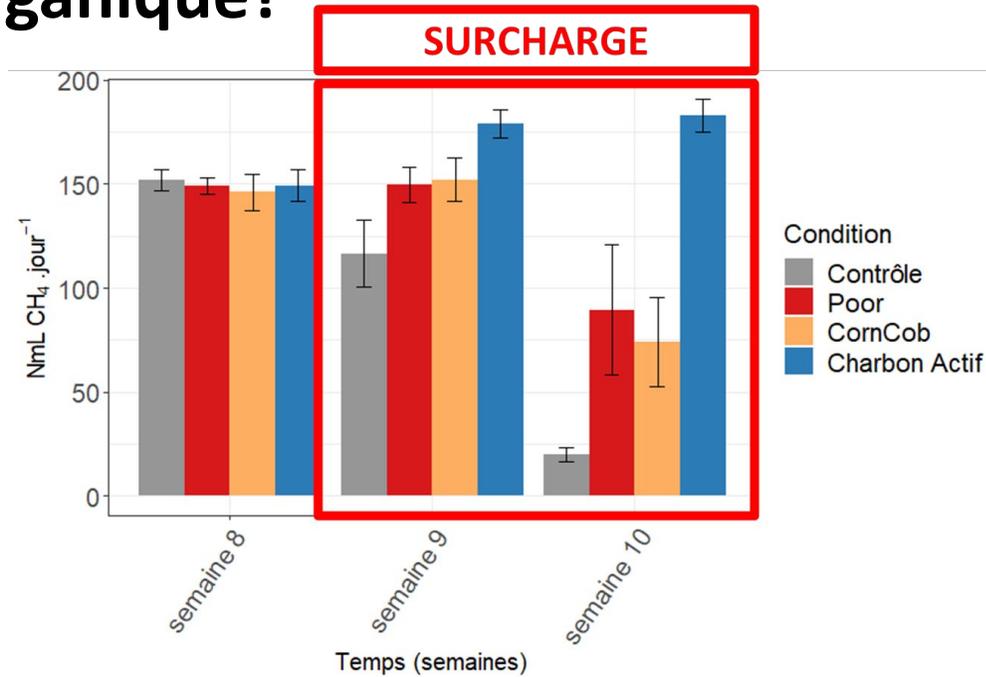
→ Pas d'AGV

→ Procédé stable avant surcharge

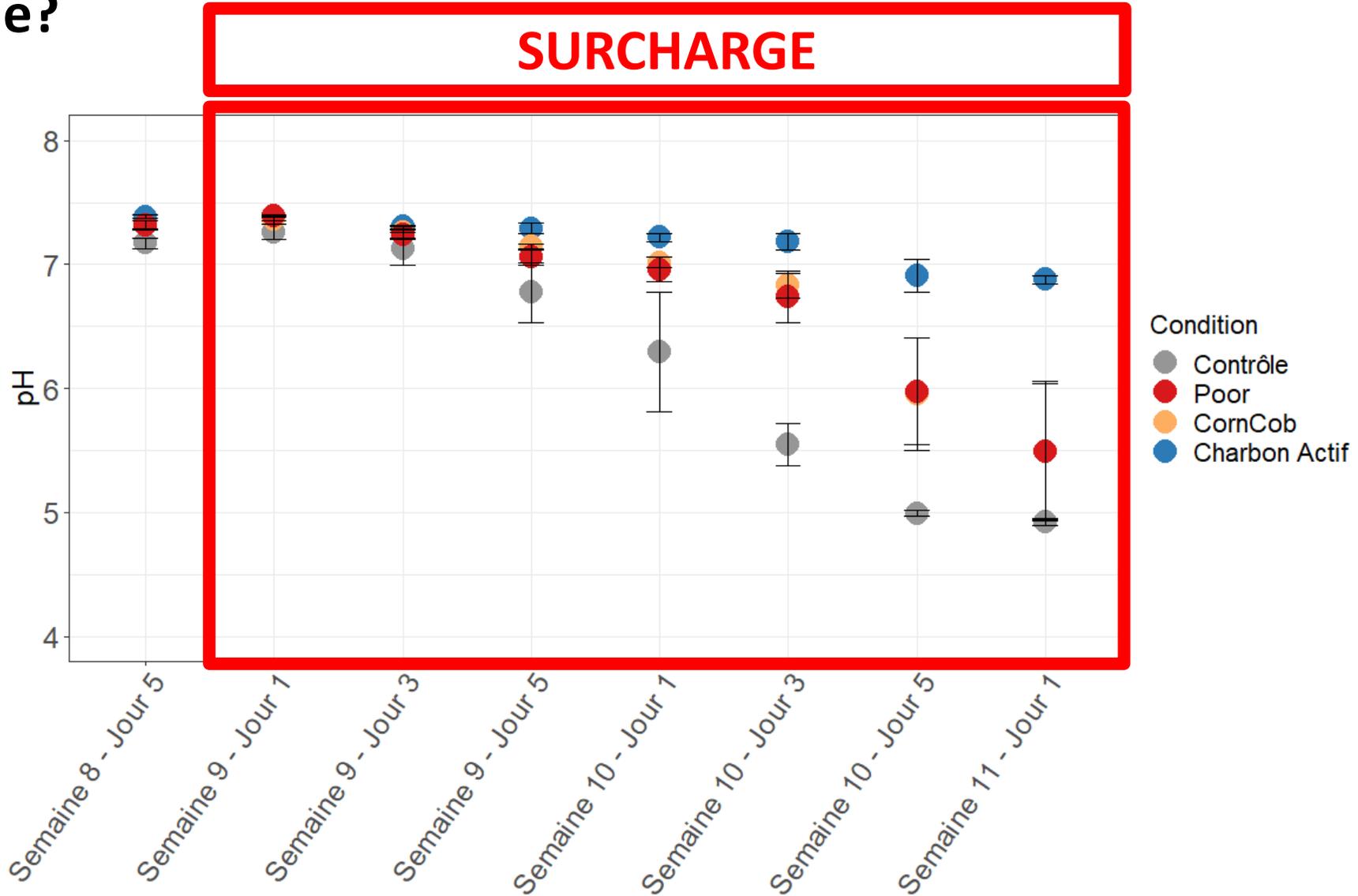
# Quel est l'effet de l'addition de biochar sur le procédé en surcharge organique?



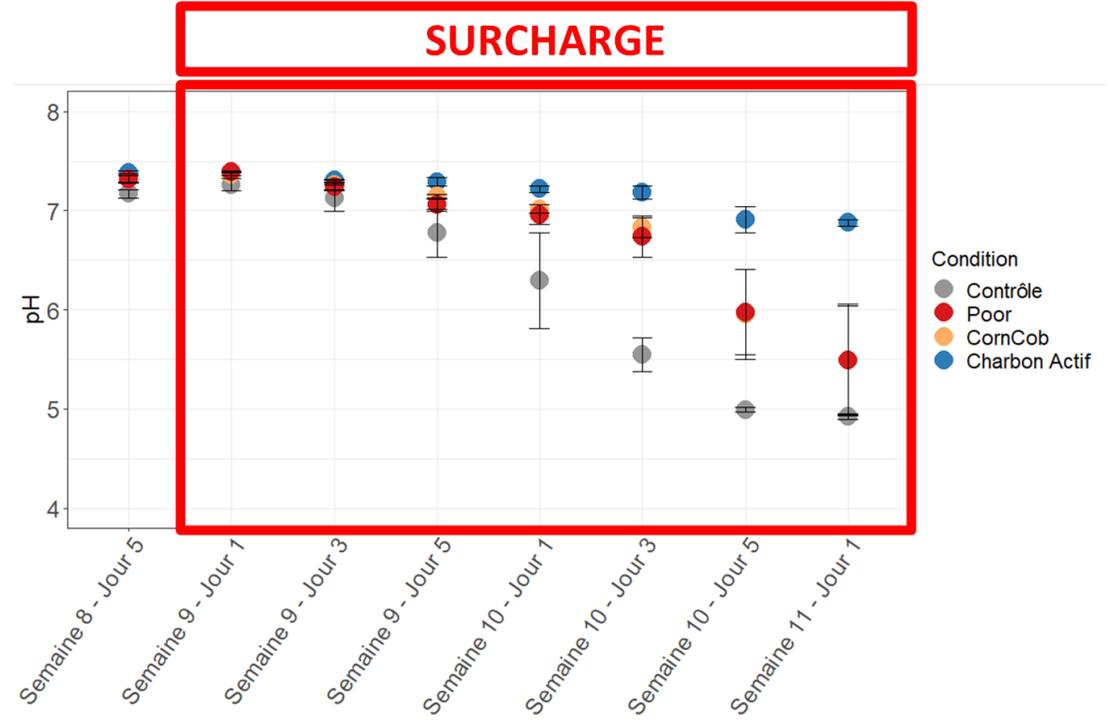
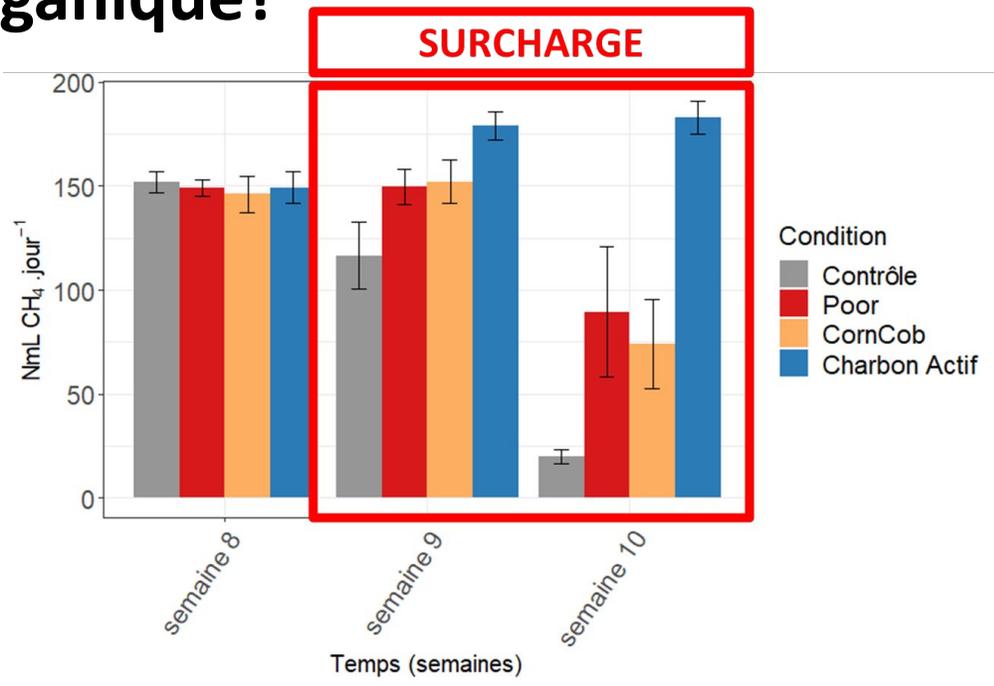
# Quel est l'effet de l'addition de biochar sur le procédé en surcharge organique?



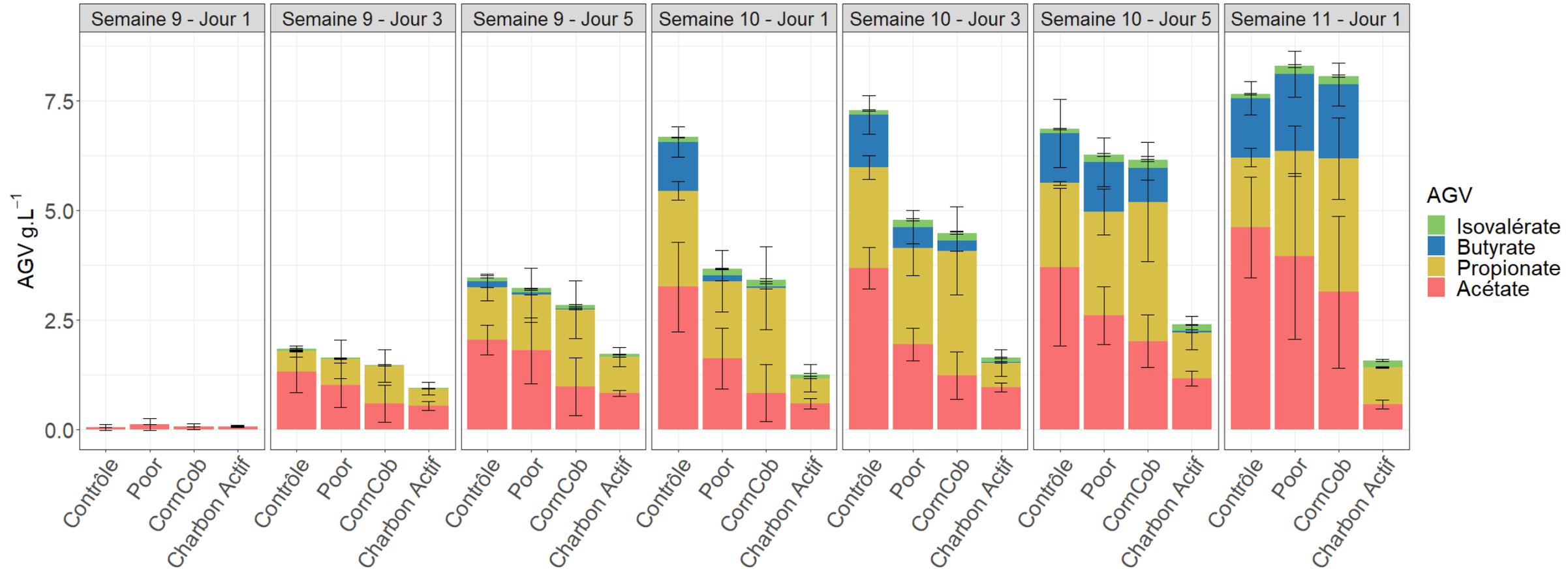
# Quel est l'effet de l'addition de biochar sur le procédé en surcharge organique?



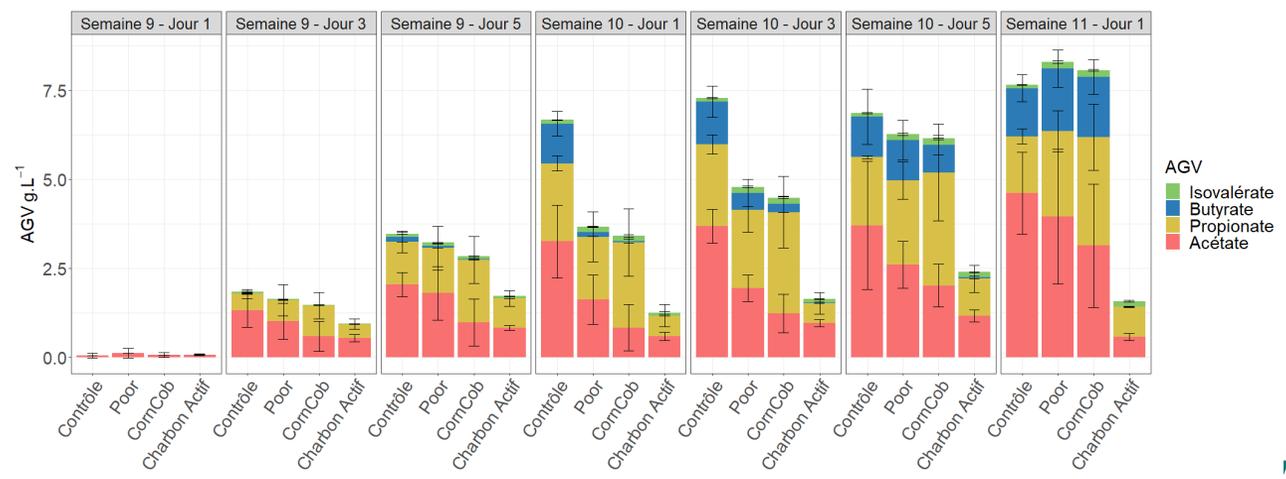
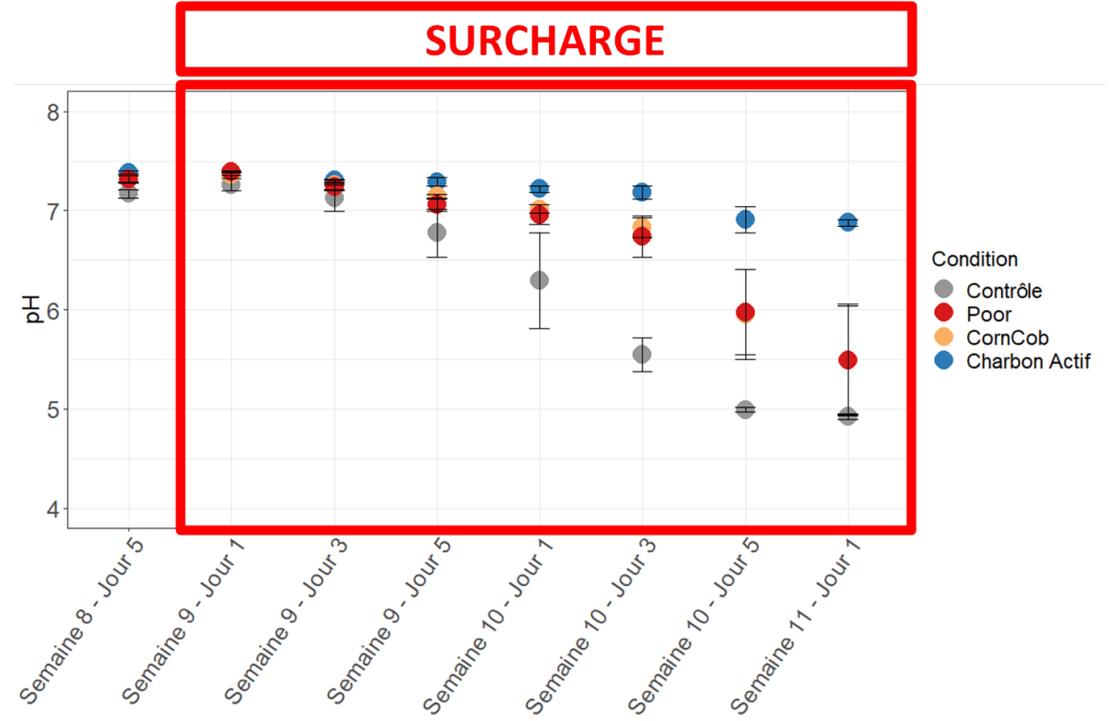
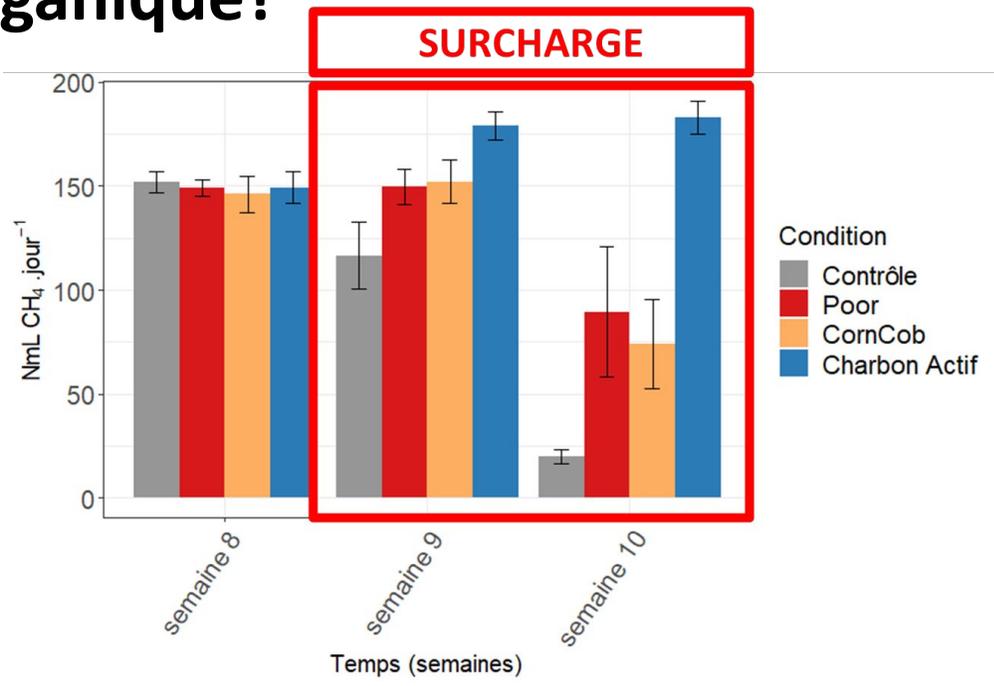
# Quel est l'effet de l'addition de biochar sur le procédé en surcharge organique?



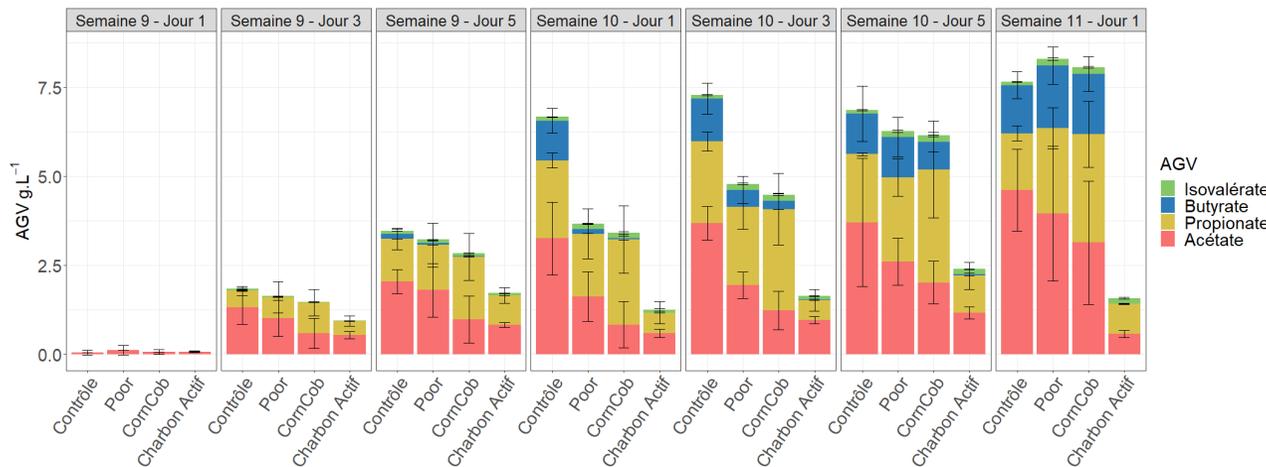
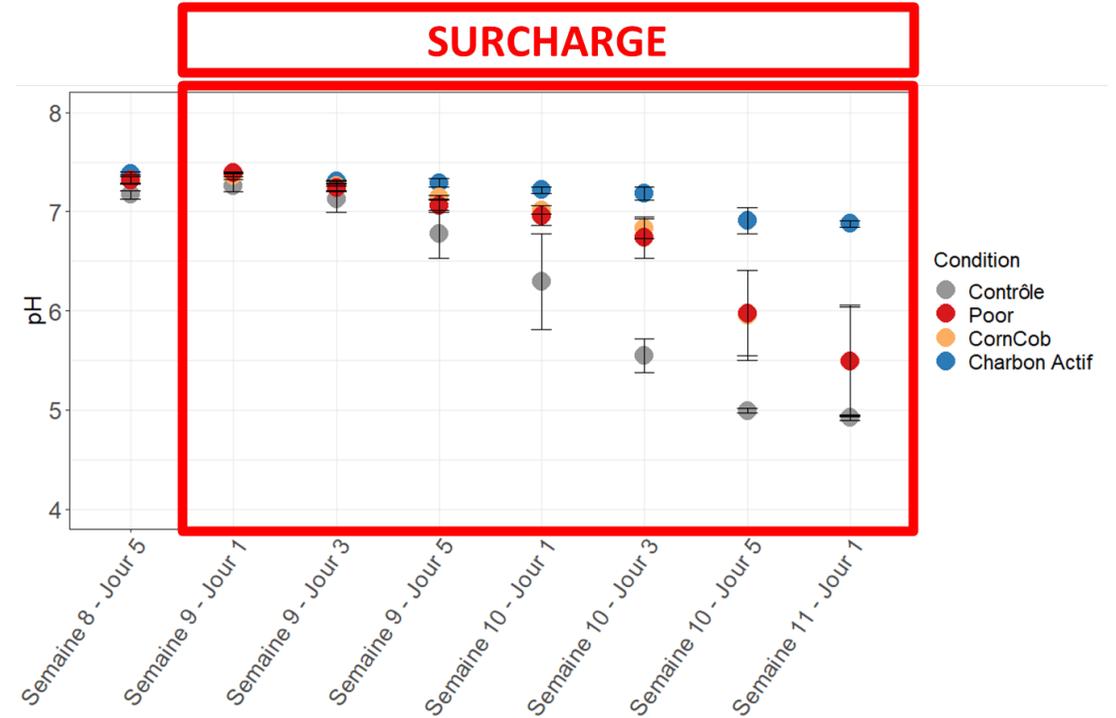
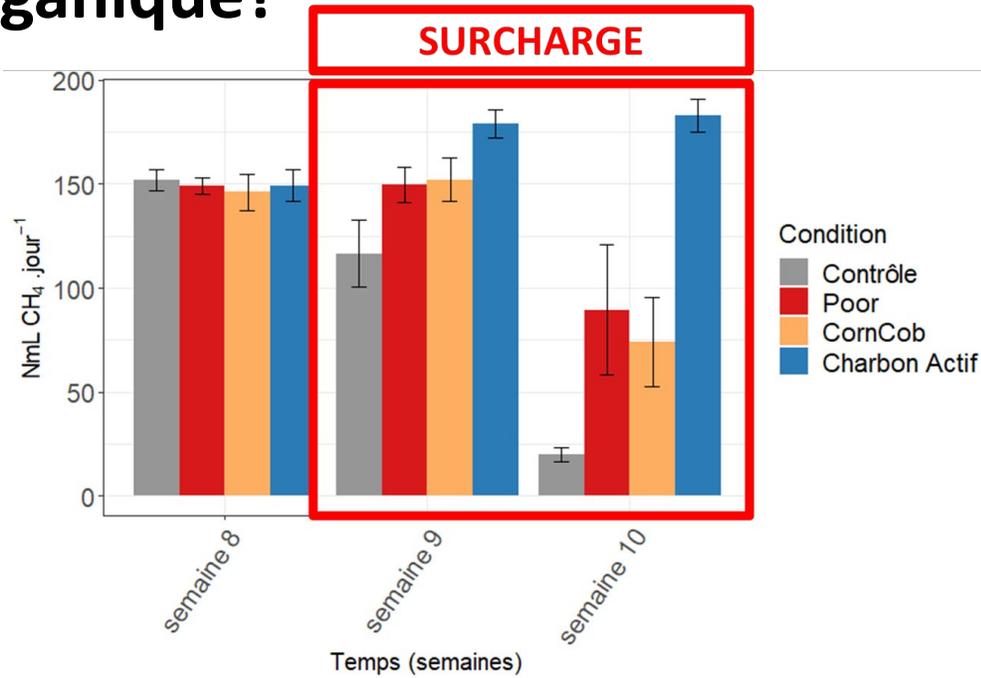
# Quel est l'effet de l'addition de biochar sur le procédé en surcharge organique?



# Quel est l'effet de l'addition de biochar sur le procédé en surcharge organique?

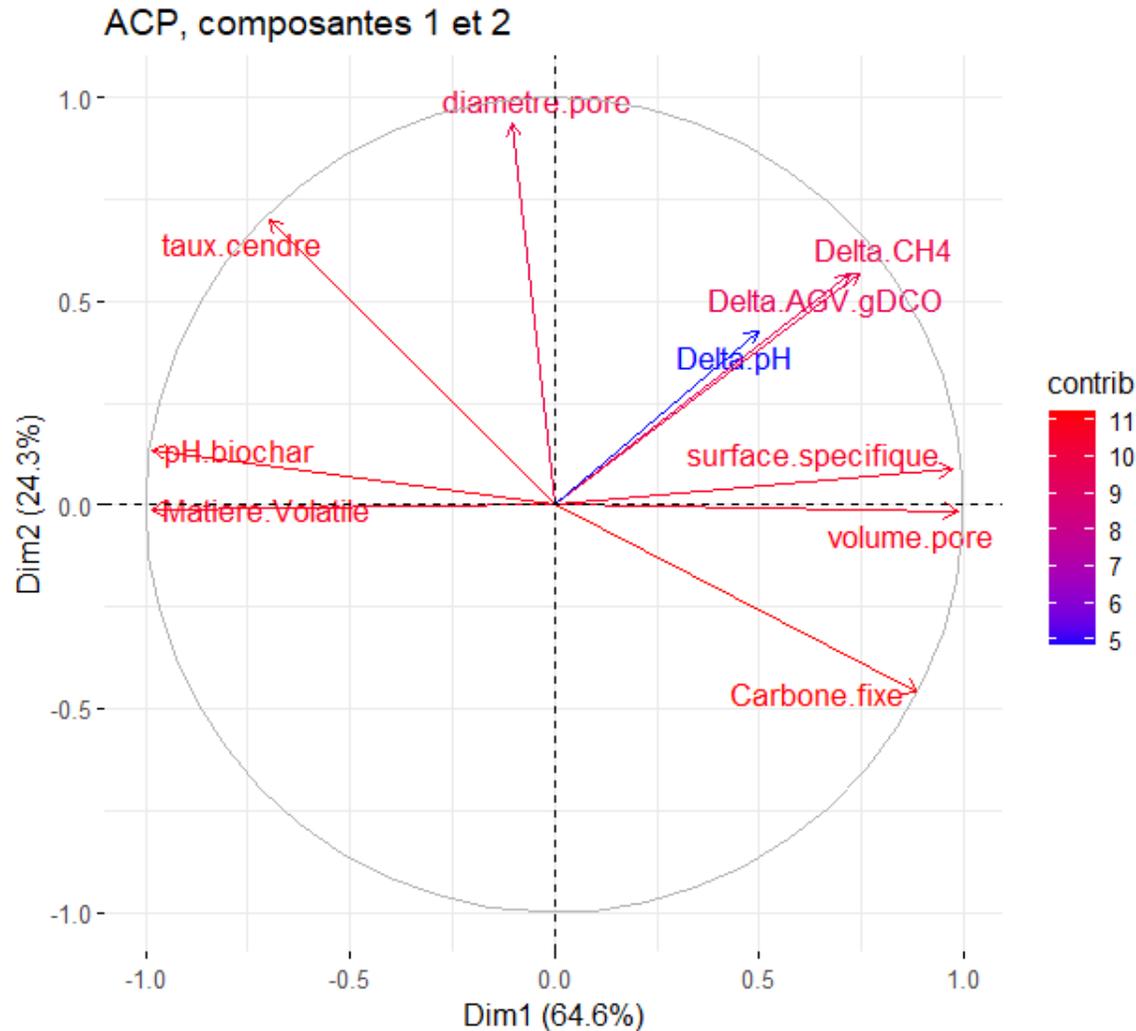


# Quel est l'effet de l'addition de biochar sur le procédé en surcharge organique?



- Important maintien avec Charbon Actif
- Maintien modéré Poor et CornCob
- Effet tampon + Effet microbologique

# Quels sont les propriétés d'intérêt des additifs pour la biomethanation *in situ* : ACP sur la période de surcharge



**Delta** : Différence entre les résultats procédés ( $\text{CH}_4$ , AGV, pH) obtenus avec et sans additifs (condition contrôle)

## Meilleures performances du procédé favorisées par :

- Surface disponible du Biochar
- Taux de Carbone Fixe et élémentaire
  - pH du biochar neutre
  - Faible MV
  - Faible taux de cendre

# Conclusions et Perspectives

## Conclusions

- Capacité tampon d'intérêt
- Le Charbon actif semble permettre de minimiser l'accumulation d'AGV
  - Effet Biofilm
  - Pouvoir tampon
  - Adsorption d'inhibiteur
- Propriétés de surface importantes en biométhanation *in situ*



## Perspectives

- Est-il possible d'augmenter la charge maximale supportable d'un système grâce à la présence de biochar ?
- Est-il possible d'enrichir un biochar en microorganismes d'intérêt pour favoriser cet effet ?

**Merci de votre attention !**

# Références

Capson-Tojo, G., Moscoviz, R., Ruiz, D., Santa-Catalina, G., Trably, E., Rouez, M., Crest, M., Steyer, J.-P., Bernet, N., Delgenès, J.-P., Escudié, R., 2018. Addition of granular activated carbon and trace elements to favor volatile fatty acid consumption during anaerobic digestion of food waste. *Bioresource Technology* 260, 157–168. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.03.097>

Kutlar, F.E., Tunca, B., Yilmazel, Y.D., 2022. Carbon-based conductive materials enhance biomethane recovery from organic wastes: A review of the impacts on anaerobic treatment. *Chemosphere* 290, 133247. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133247>

Linville, J.L., Shen, Y., Ignacio-de Leon, P.A., Schoene, R.P., Urgan-Demirtas, M., 2017. In-situ biogas upgrading during anaerobic digestion of food waste amended with walnut shell biochar at bench scale. *Waste Manag Res* 35, 669–679. <https://doi.org/10.1177/0734242X17704716>

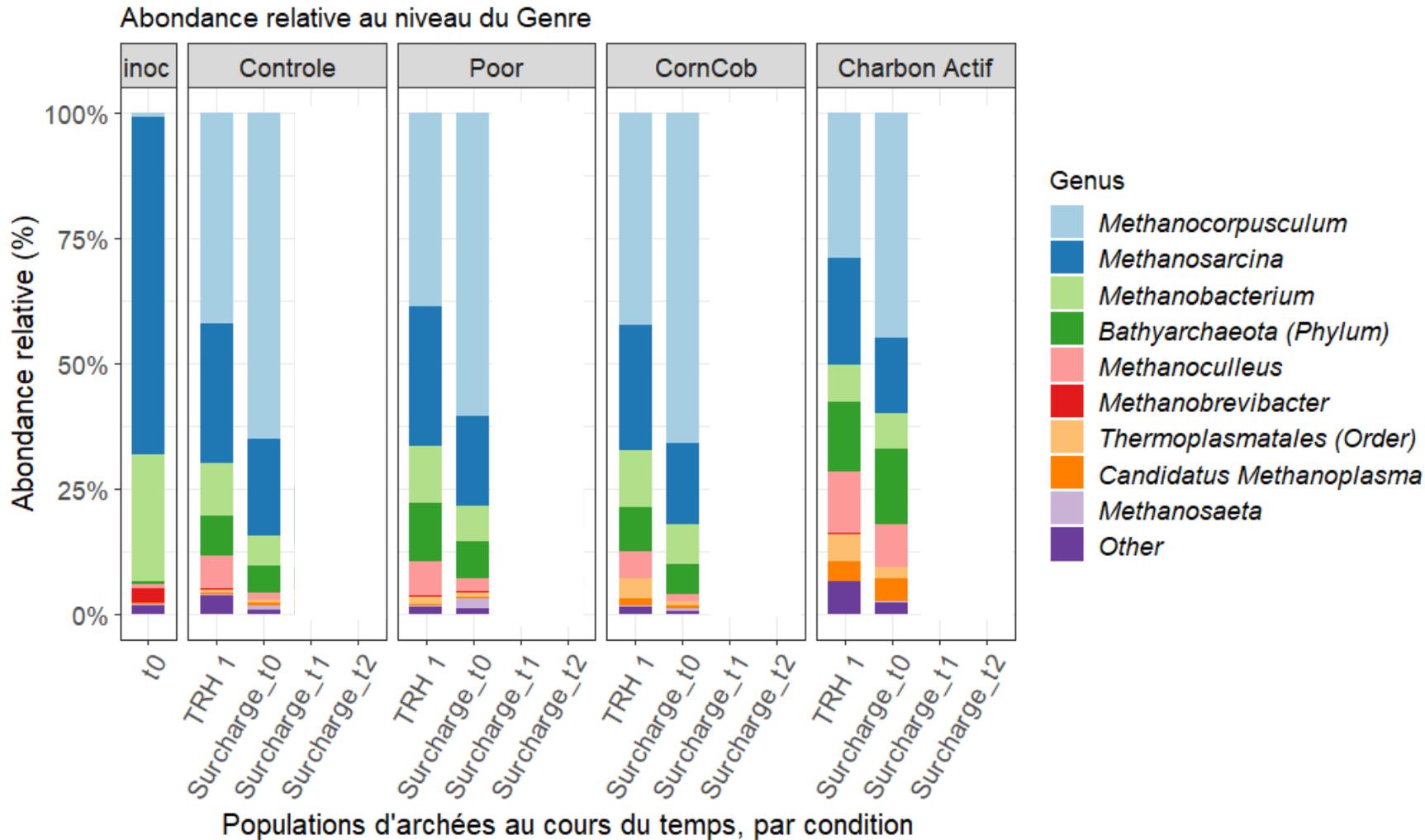
Liu, F., Rotaru, A.-E., Shrestha, P.M., Malvankar, N.S., Nevin, K.P., Lovley, D.R., 2012. Promoting direct interspecies electron transfer with activated carbon. *Energy Environ. Sci.* 5, 8982–8989. <https://doi.org/10.1039/C2EE22459C>



# Annexes



# Quel est l'impact du biochar sur la communauté microbienne ?

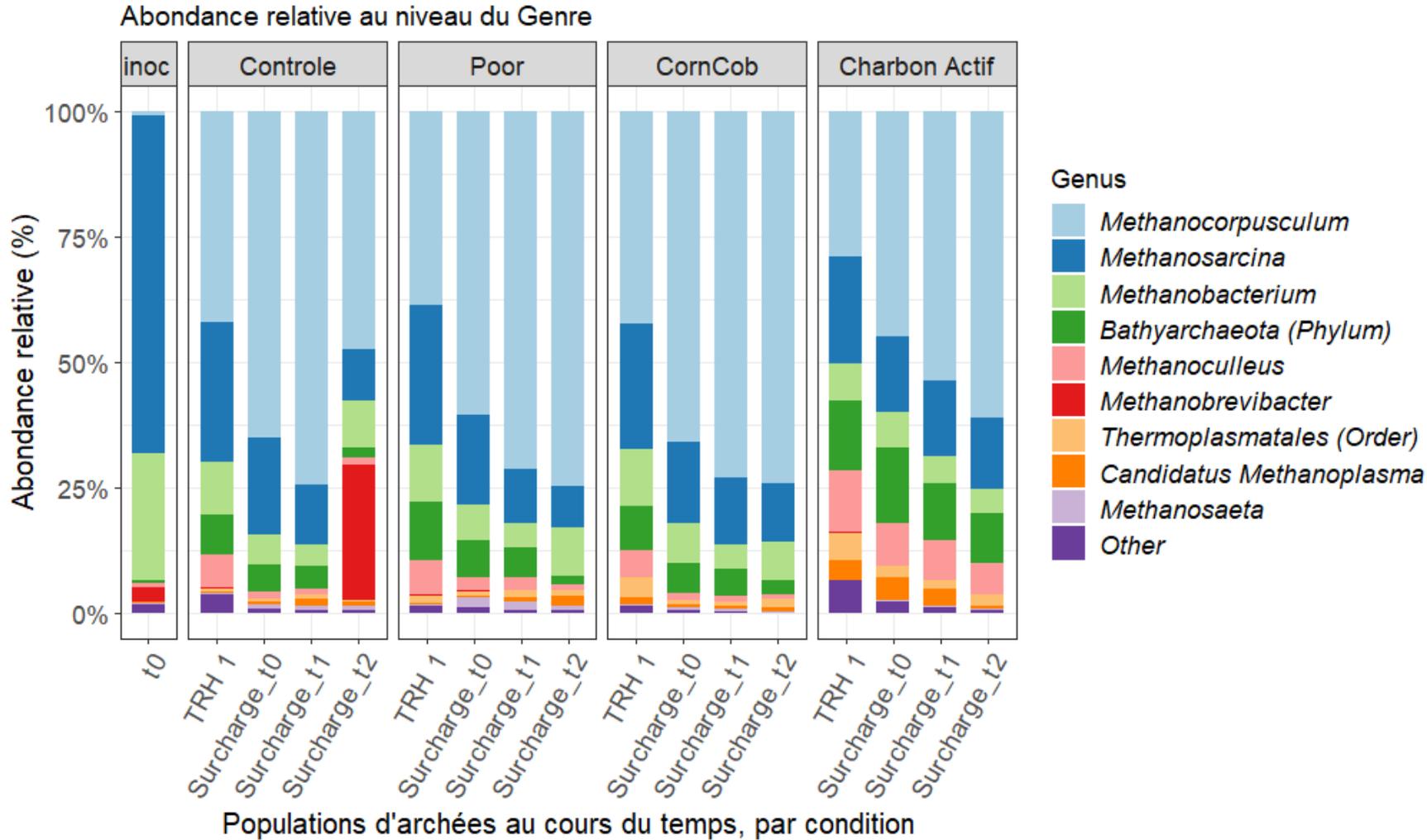


Enrichissement en **archées hydrogénotrophes**

**Poor** et **CornCob** limitent l'impact de la surcharge sur la communauté

Le **Charbon Actif** promeut une communauté plus diversifiée

# Quel est l'impact du biochar sur la communauté microbienne ?

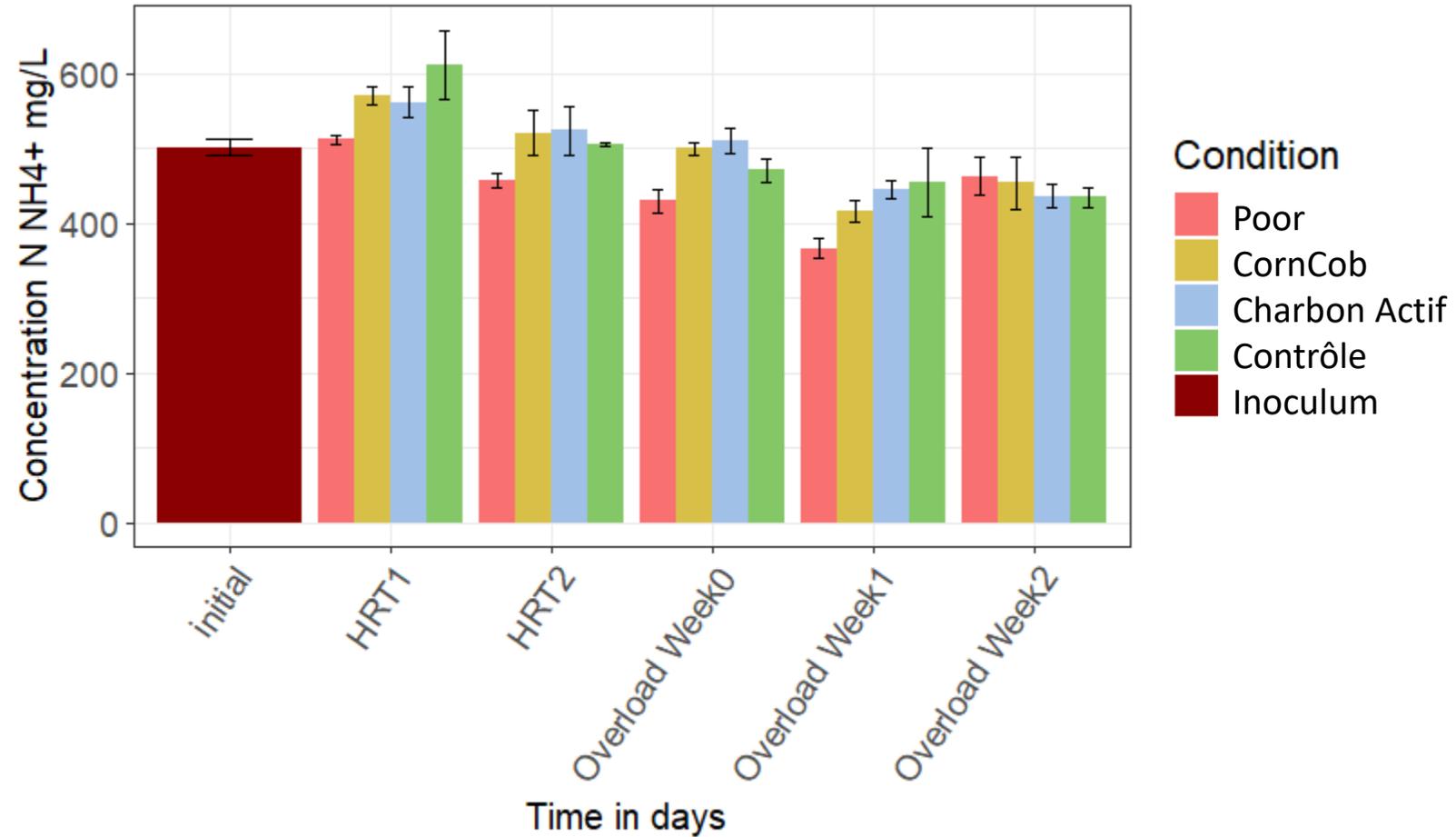


Enrichissement en **archées hydrogénotrophes**

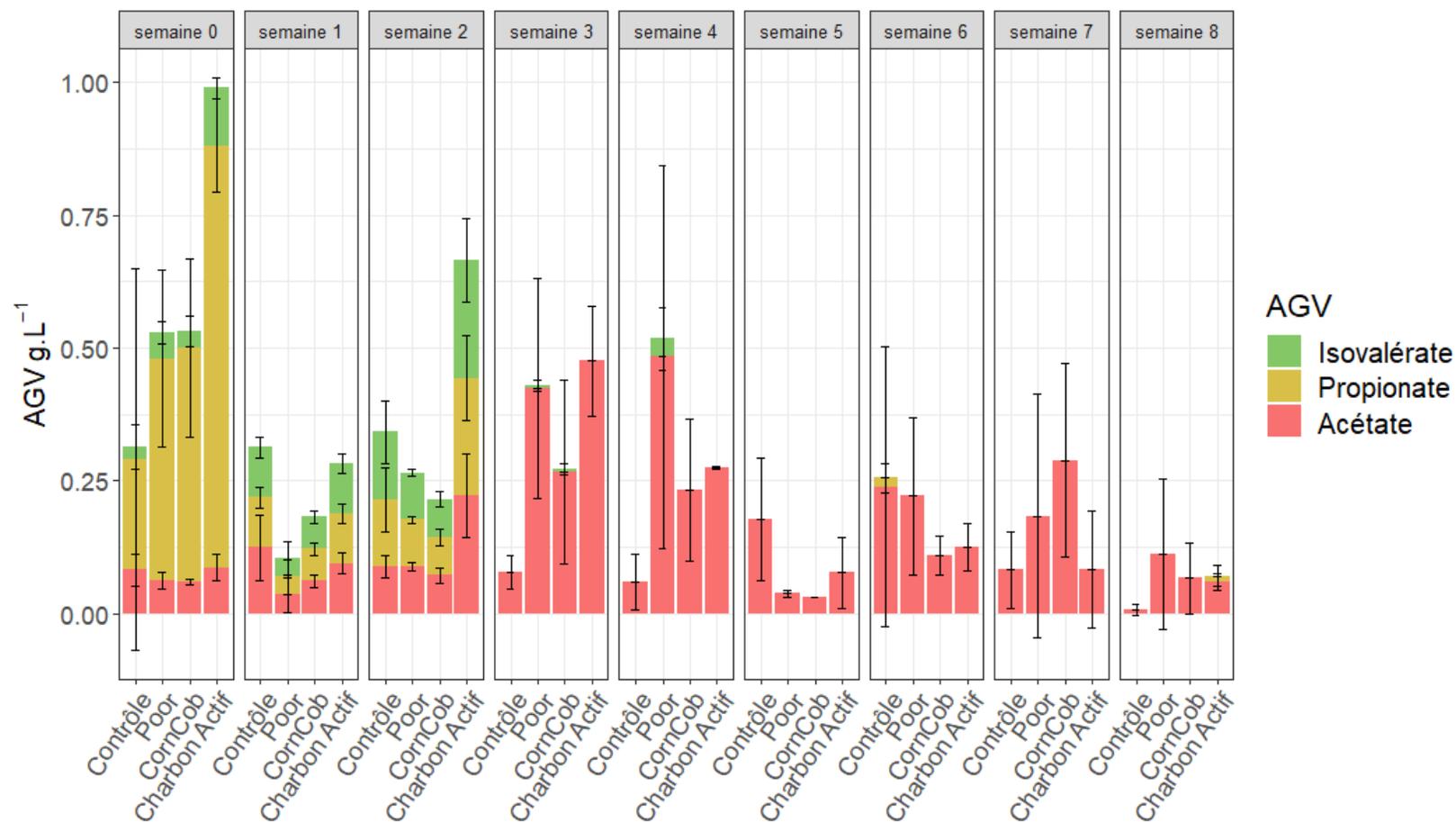
**Poor** et **CornCob** limitent l'impact de la surcharge sur la communauté

Le **Charbon Actif** promeut une communauté plus diversifiée

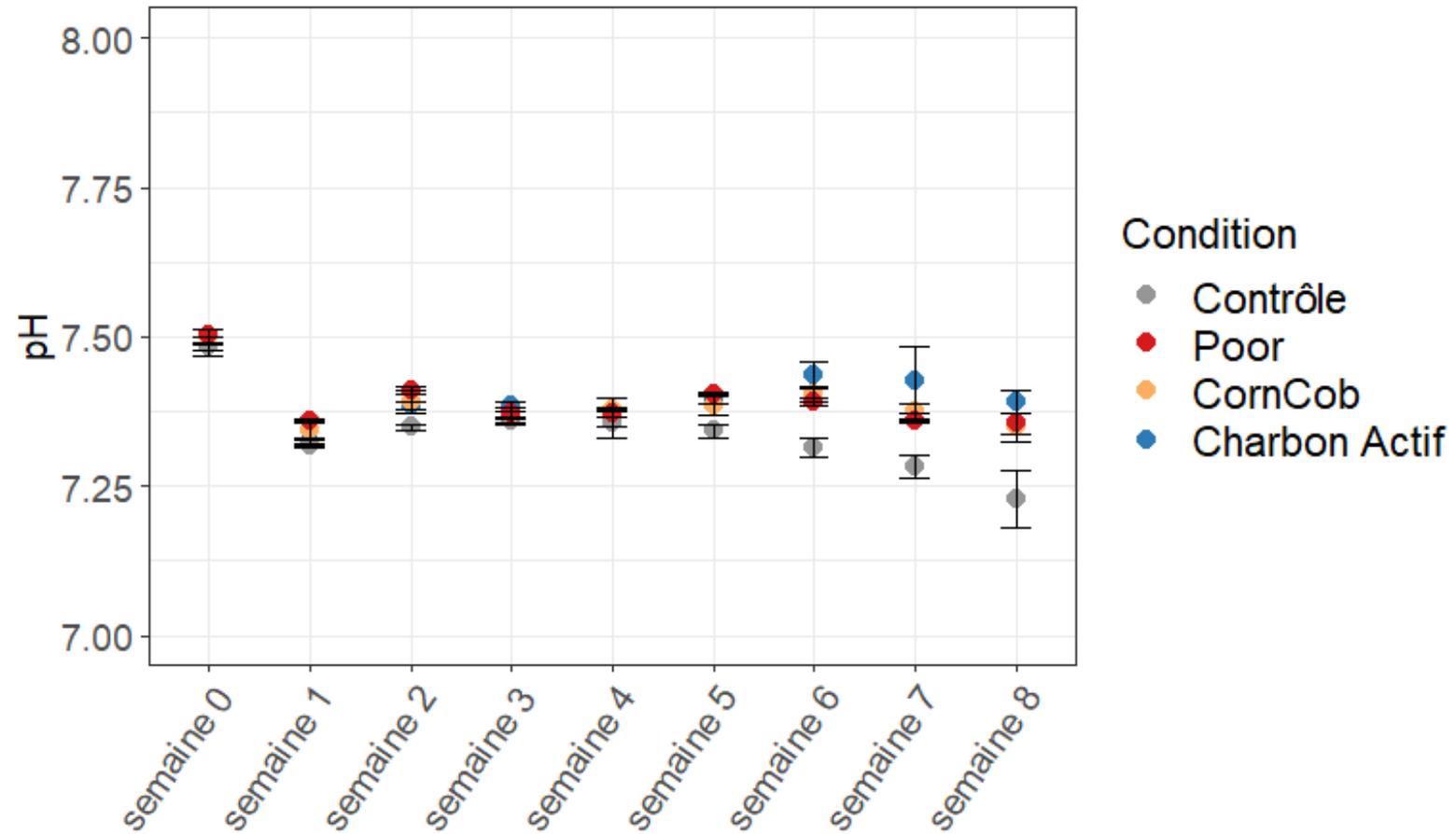
# Annexe 1 : azote ammoniacal



# Annexe 1 : AGV en phase stationnaire



# Annexe 1 : pH en phase stationnaire



## Annexe 2 : Propriétés des Biochars

Caractérisation	Poor	CornCob	Charbon Actif
T°C pyrolyse	450°C	450°C	900°C
pH	10,73	8,40	6,70
Activation	Non	Non	Lavage à l'acide (HCl)
Surface spécifique (m <sup>2</sup> /g)	118	225	407
Taille de particule	20 µm	20 µm	1-2mm
Humidité	3%	7%	4%
Volume de pores (mL/g)	0,037	0,071	0,110
Carbone Fixe (%)	42 %	74%	77%
MV (%)	24%	17%	5%
Cendre (%)	30%	2%	14%

## Annexe 2 : Propriétés des Biochars

Élém,	Poor	CornCob	Charbon Actif
H	2,140	3,030	-
C	55,600	81,500	92,803
N	1,910	0,950	0,000
O	13,874	6,070	3,551
Na	3,265	0,204	0,467
Mg	2,624	0,664	0,101
Al	0,701	0,334	0,494
Si	1,842	2,394	1,451
P	2,169	0,618	0,003
S	1,619	0,217	0,723
Cl	4,225	0,687	0,109
K	5,234	2,664	0,018
Ca	2,479	0,417	0,107
Ti	0,030	0,000	0,107
Cr	0,017	0,000	0,000
Mn	0,109	0,011	0,000
Fe	2,087	0,226	0,056
Ni	0,000	0,000	0,000
Cu	0,012	0,000	0,000
Zn	0,038	0,010	0,000
Br	0,010	0,002	0,000
Rb	0,005	0,000	0,000
Sr	0,010	0,000	0,010

**Compositions élémentaires: Fluorescence X et par analyses CHONS sur base sèche (en % massique).**

# Annexe 3 : Individus de l'ACP

