

## Déchets de papier/carton comme co-substrat pour stabiliser la digestion anaérobie des biodéchets alimentaires commerciaux

Gabriel Capson-Tojo<sup>1,2</sup>, Maxime Rouez<sup>2</sup>, Marion Crest<sup>2</sup>, Eric Trably<sup>1</sup>, Nicolas Bernet<sup>1</sup>, Jean-Philippe Steyer<sup>1</sup>, Jean-Philippe Delgenès<sup>1</sup>, Renaud Escudie<sup>1</sup>

1. LBE, INRA, 102 avenue des Etangs, 11100, Narbonne, France

2. Suez, CIRSEE, 38 rue du Président Wilson, 78230, France

[gabriel.capson-tojo@supagro.inra.fr](mailto:gabriel.capson-tojo@supagro.inra.fr)



12 avril 2017, Beauvais, FRANCE



# Introduction. Biodéchets alimentaires (BA)

“Aliments perdus dans les chaînes d’approvisionnement alimentaire destinées à la production d’aliments pour consommation humaine”  
(Gustavsson et al., 2011)

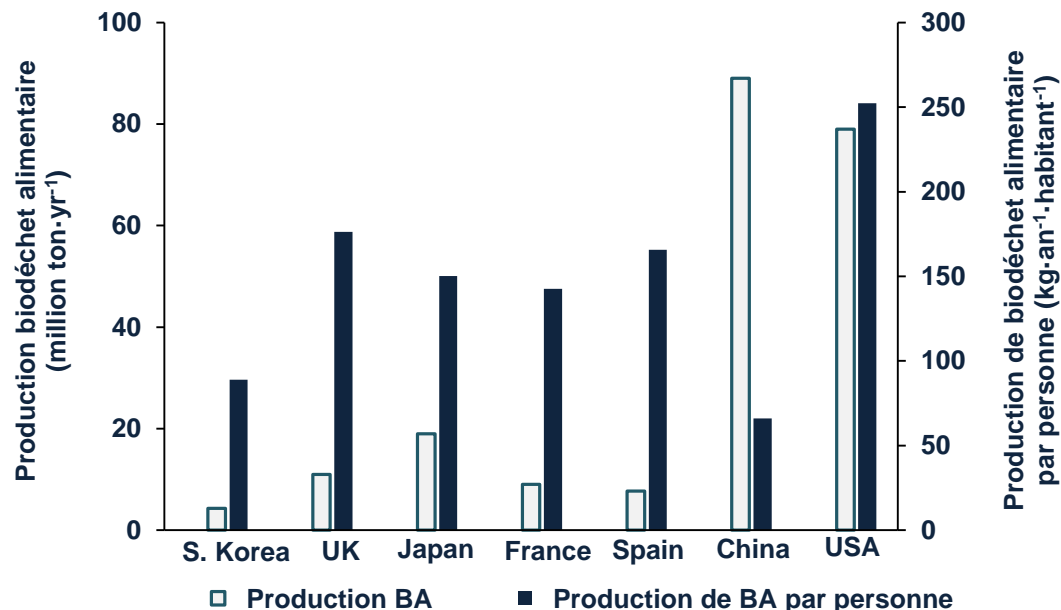
1/3 de la production mondiale d’aliments (FAO, 2012)

Composante principale des fractions fermentescibles d’ordures ménagères (FFOM)

Augmentation de 44% de la production attendue entre 2005 à 2025

## Production de Biodéchets Alimentaires en 2010

Melikoglu et al. (2013), Monier et al. (2010), Ademe (2013), Zhang et al. (2014) and UN (2011)



## Caractéristiques des BAs les plus pertinents pour la digestion anaérobie (DA)

PARAMETRE	Banks et al., 2012	Zhang et al., 2011	Li et al., 2010	VALORGAS, 2010 (EU)	Capson et al., 2017
Matière sèche (MS) (%)	23.7	18.1	24	23.7	21.6
Matière volatile (VS)/MS (%)	91.4	94.0	94.1	92.0	96.2
Carbohydrates (%)	41.4	61.7	55.2	-	73.8
C/N	13.9	13.2	22.5	16.4	16.3

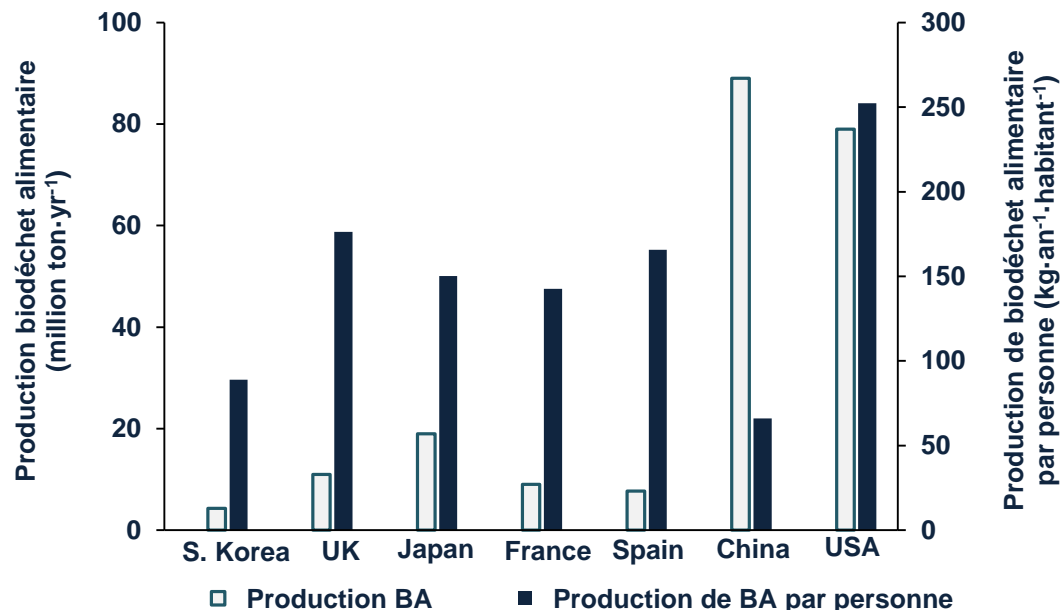


# Introduction. Biodéchets alimentaires (BA)

- “Aliments perdus dans les chaînes d’approvisionnement alimentaire destinées à la production d’aliments pour consommation humaine”  
(Gustavsson et al., 2011)
- 1/3 de la production mondiale d’aliments (FAO, 2012)
- Composante principale des fractions fermentescibles d’ordures ménagères (FFOM)
- Augmentation de 44% de la production attendue entre 2005 à 2025

## Production de Biodéchets Alimentaires en 2010

Melikoglu et al. (2013), Monier et al. (2010), Ademe (2013), Zhang et al. (2014) and UN (2011)



## Options pour le traitement des BAs



Décharge



Incinération



Compostage



Digestion Anaérobie

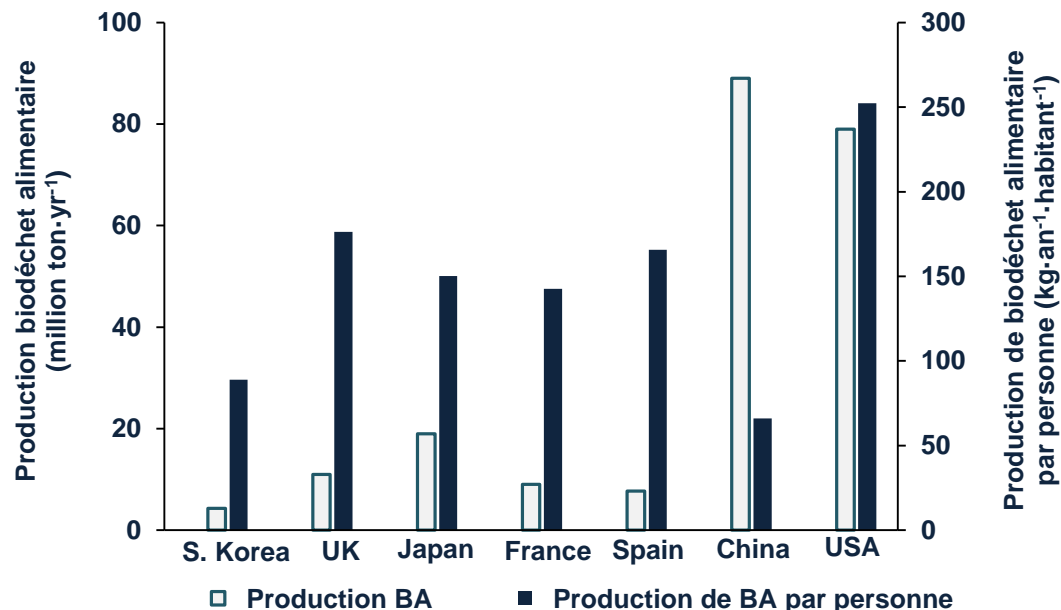


# Introduction. Biodéchets alimentaires (BA)

- “Aliments perdus dans les chaînes d’approvisionnement alimentaire destinées à la production d’aliments pour consommation humaine” (Gustavsson et al., 2011)
- 1/3 de la production mondiale d’aliments (FAO, 2012)
- Composante principale des fractions fermentescibles d’ordures ménagères (FFOM)
- Augmentation de 44% de la production attendue entre 2005 à 2025

## Production de Biodéchets Alimentaires en 2010

Melikoglu et al. (2013), Monier et al. (2010), Ademe (2013), Zhang et al. (2014) and UN (2011)



## Options pour le traitement des BAs

**EU directive (2008/98/CE)**  
Valorisation obligatoire  
par retour au sol



Compostage



Digestion Anaérobie



## Principaux problèmes qui existent lors de la DA des BAs



● Biodégradation rapide

Matières organiques



AGVs



Baisse du pH



Inhibition méthanogènes

Principal problème en mode **batch**:  
accumulation initiale d'AGVs &  
**acidification**



● Teneur en azote élevée

Azote organique



NH<sub>3</sub>



Inhibition méthanogènes



Principal problème en mode **continu**:  
accumulation de NH<sub>3</sub> & **acidification**



# Introduction. Biodéchets alimentaires (BA)

## Mono-digestion

- Opération instable (“inhibited steady state”)
- Réacteurs acidifiés à de faibles charges



## Co-digestion

- DA simultanée de **deux** substrats organiques **ou plus**
- Equilibrage des nutriments, dilution des inhibiteurs, augmentation de la capacité tampon...

## Co-substrat

- Ratio C/N élevé
- Augmenter la capacité tampon
- Biodégradabilité élevée
- Facilement disponible

### Fumiers



### Déchets Verts



### Déchets papier/carton



### Boues



### Résidus de céréales





## Est-ce que le carton peut stabiliser la DA des BAs?



### Composition d'un BA synthétique (VALORGAS)

Composant	Ingrédient	% W/W
Fruits et légumes	Pomme	25.9
	Salade	25.9
	Pomme de terre	25.9
Pâtes/riz/farine/ céréales	Pâtes	4.8
Pain et pâtisserie	Pain	6.2
Viande et poisson	Poulet	4.1
	Bœuf	4.1
Produits laitiers	Fromage	1.9
Snacks,...	Biscuits	1.5

### Caractéristiques des substrats

Paramètre/ Elément	Unité	BA synthétique	Déchets carton
MS	% (w. b.)	21.62 ± 0.67	92.69 ± 3.70
MV	% MS	96.18 ± 0.14	77.55 ± 0.24
pH	-	5.60	7.10
BMP	ml CH <sub>4</sub> ·g VS <sup>-1</sup>	497.65 ± 42.47	249.76 ± 2.66
DCO	g COD·g TS <sup>-1</sup>	1.37 ± 0.05	1.19 ± 0.05
Carbohydrates	g·kg TS <sup>-1</sup>	686.88 ± 15.34	957.72 ± 5.33
C:N	-	16.31	182.70
Na Total	g·kg TS <sup>-1</sup>	3.27	0.56
Fe	mg·kg TS <sup>-1</sup>	421.18	865.53

BA synthétique représentatif

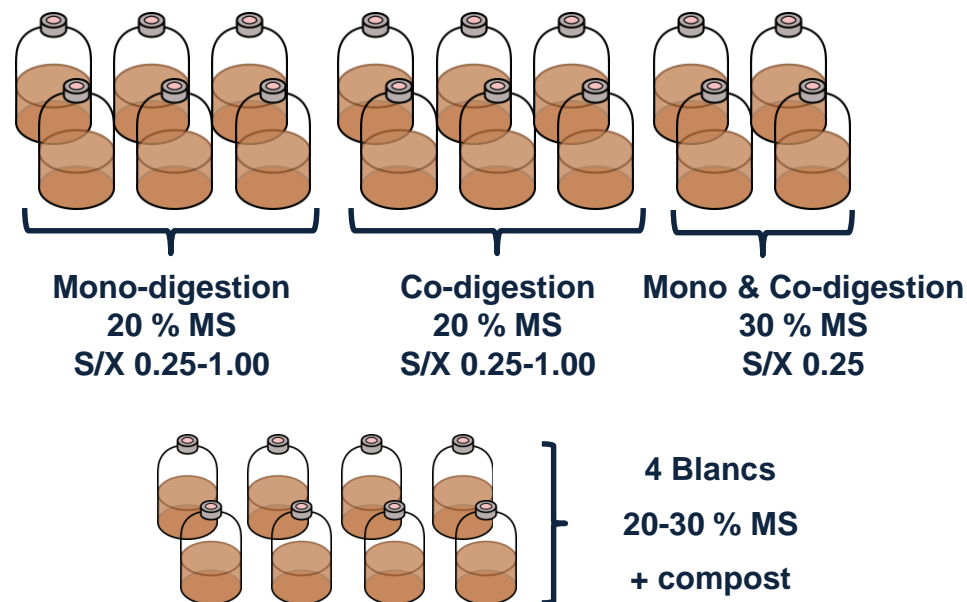
Carton adapté comme co-substrat





- Est-ce que le carton peut stabiliser la DA des BAs?
- Évaluer l'influence de la charge initiale et...
- Évaluer l'influence de la teneur en MS initiale...
- ... sur le rendement de méthane et la **dynamique** de production/consommation des AGVs

- Tests batch x 8
- Mésophile (35° C)
- Deux réplicats
- S/X 0.25, 0.5, 1.00 g MV·g MV<sup>-1</sup>
- MS 20-30% (+ compost)
- Ratio BA/DC = 7.5 g·g<sup>-1</sup>

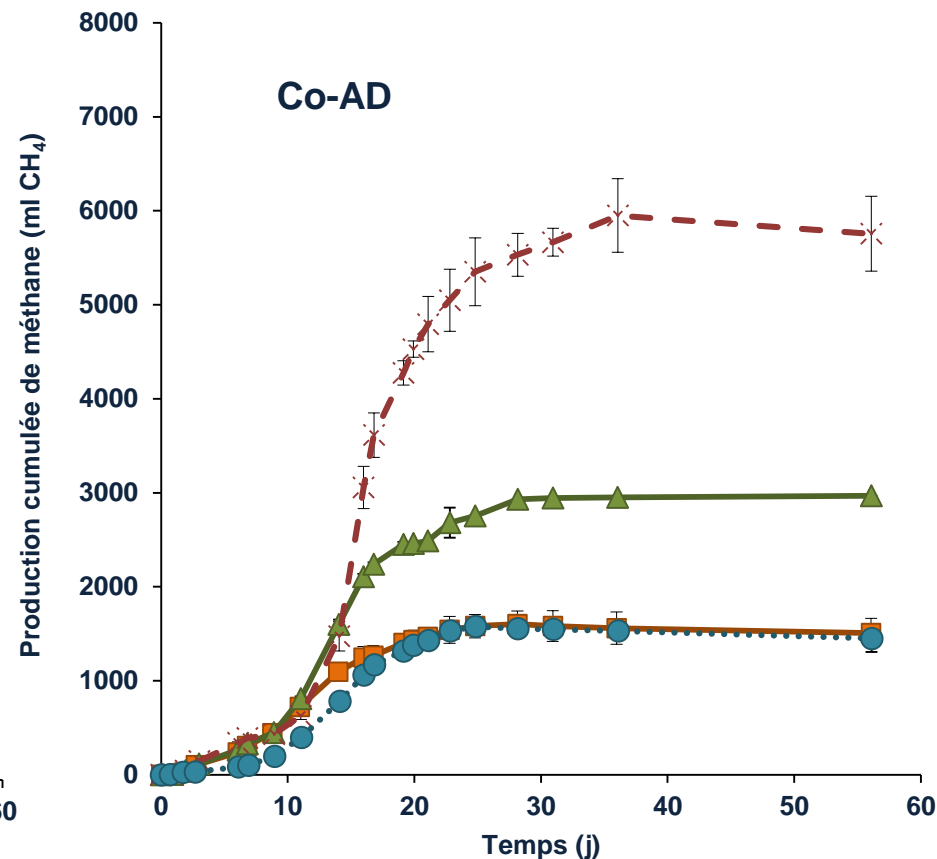
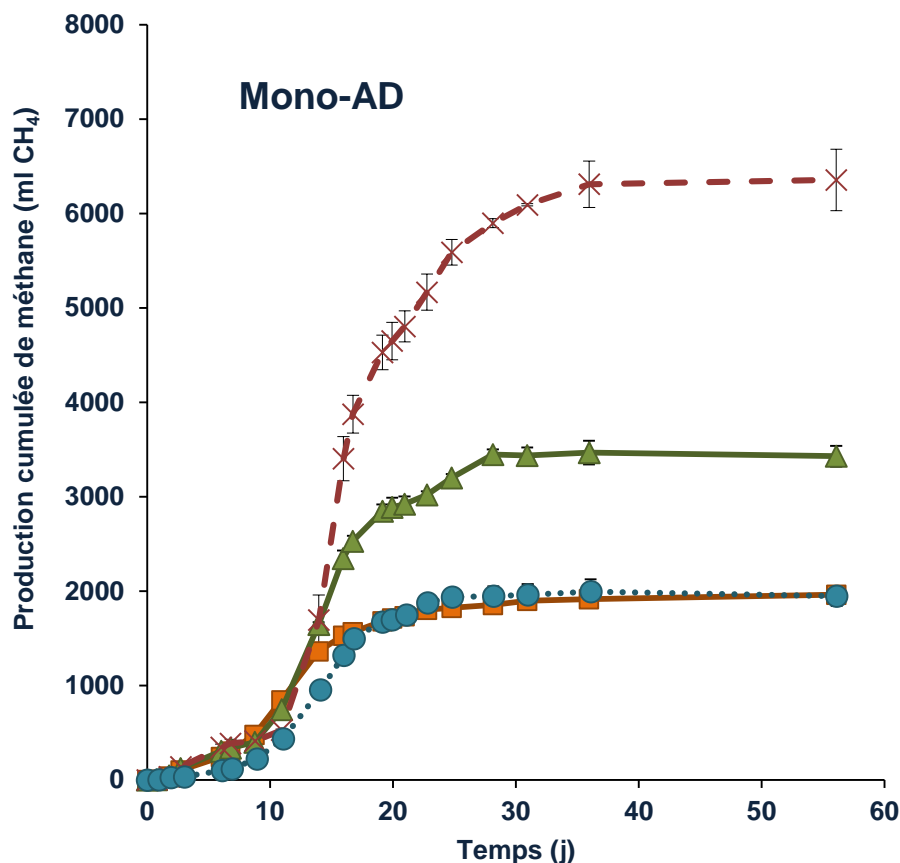






# Résultats et discussion

## ● Production de méthane cumulée

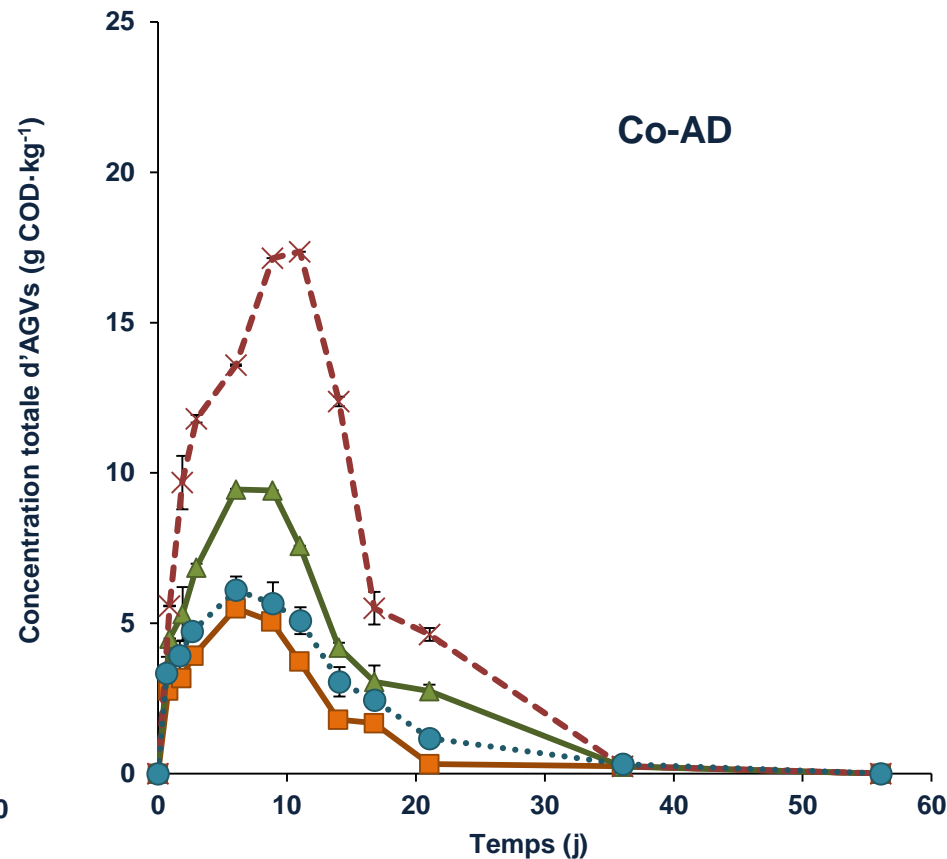
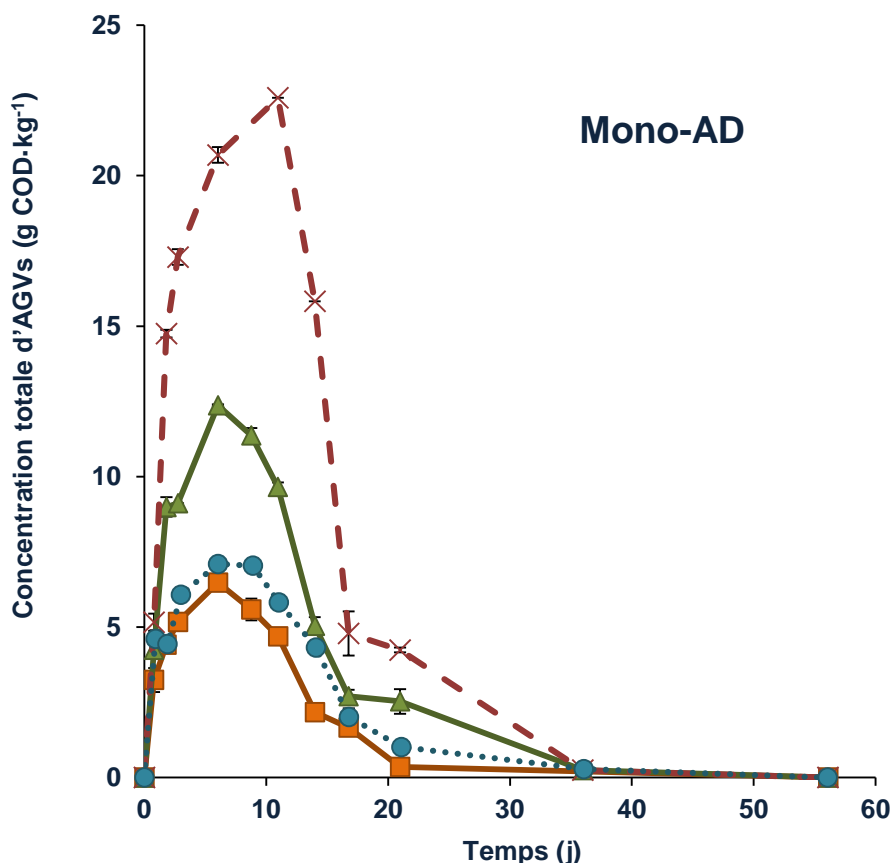


—■— 20 %; 0.25 g MV·g MV<sup>-1</sup> —▲— 20 %; 0.50 g MV·g MV<sup>-1</sup> —×— 20 %; 1.00 g MV·g MV<sup>-1</sup> ···●··· 30 %; 0.25 g MV·g MV<sup>-1</sup>



# Résultats et discussion

## Concentrations totales d'AGVs

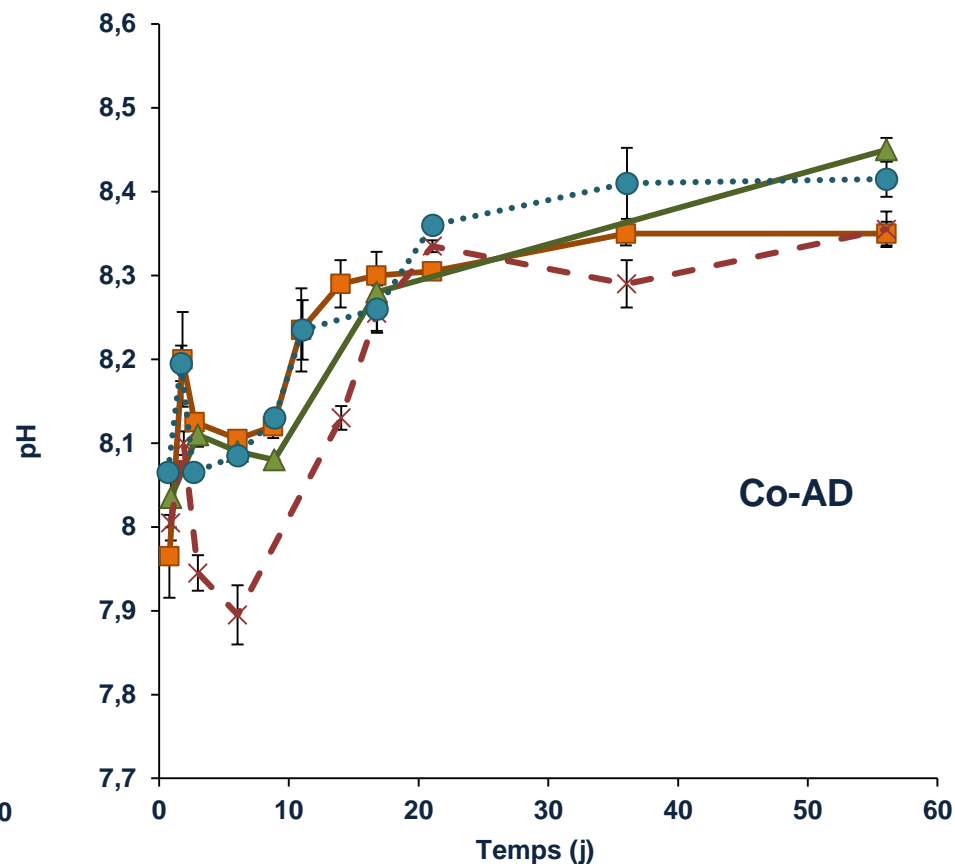
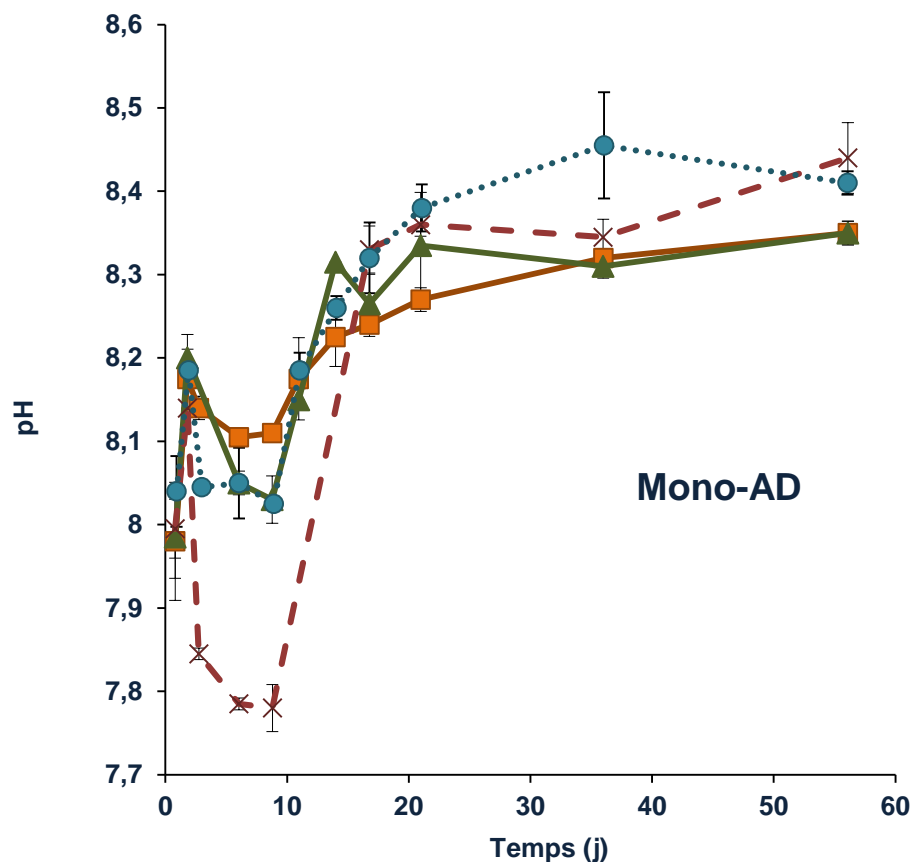


—■— 20 %; 0.25 g MV.g MV<sup>-1</sup>    —▲— 20 %; 0.50 g MV.g MV<sup>-1</sup>    -x- 20 %; 1.00 g MV.g MV<sup>-1</sup>    ...●... 30 %; 0.25 g MV.g MV<sup>-1</sup>



# Résultats et discussion

## ● Evolution du pH



—■— 20 %; 0.25 g MV·g MV<sup>-1</sup> —▲— 20 %; 0.50 g MV·g MV<sup>-1</sup> —×— 20 %; 1.00 g MV·g MV<sup>-1</sup> ···●··· 30 %; 0.25 g MV·g MV<sup>-1</sup>



# Résultats et discussion

## Rendements de méthane

Substrat	MS <sub>0</sub> (%)	S/X (g MV·g MV <sup>-1</sup> )	Rendement Méthane (ml CH <sub>4</sub> ·g MV <sup>-1</sup> )	Réduction (%)
Mono-digestion	20	0.25	464±14	-
Mono-digestion	20	0.50	405±12	13
Mono-digestion	20	1.00	375±17	19
Co-digestion	20	0.25	334±32	-
Co-digestion	20	0.50	321	4
Co-digestion	20	1.00	298	10
Mono-digestion	30	0.25	464±24	-
Co-digestion	30	0.25	333±14	-

S/X   Rendement de CH<sub>4</sub> 



# Résultats et discussion

## Rendements de méthane

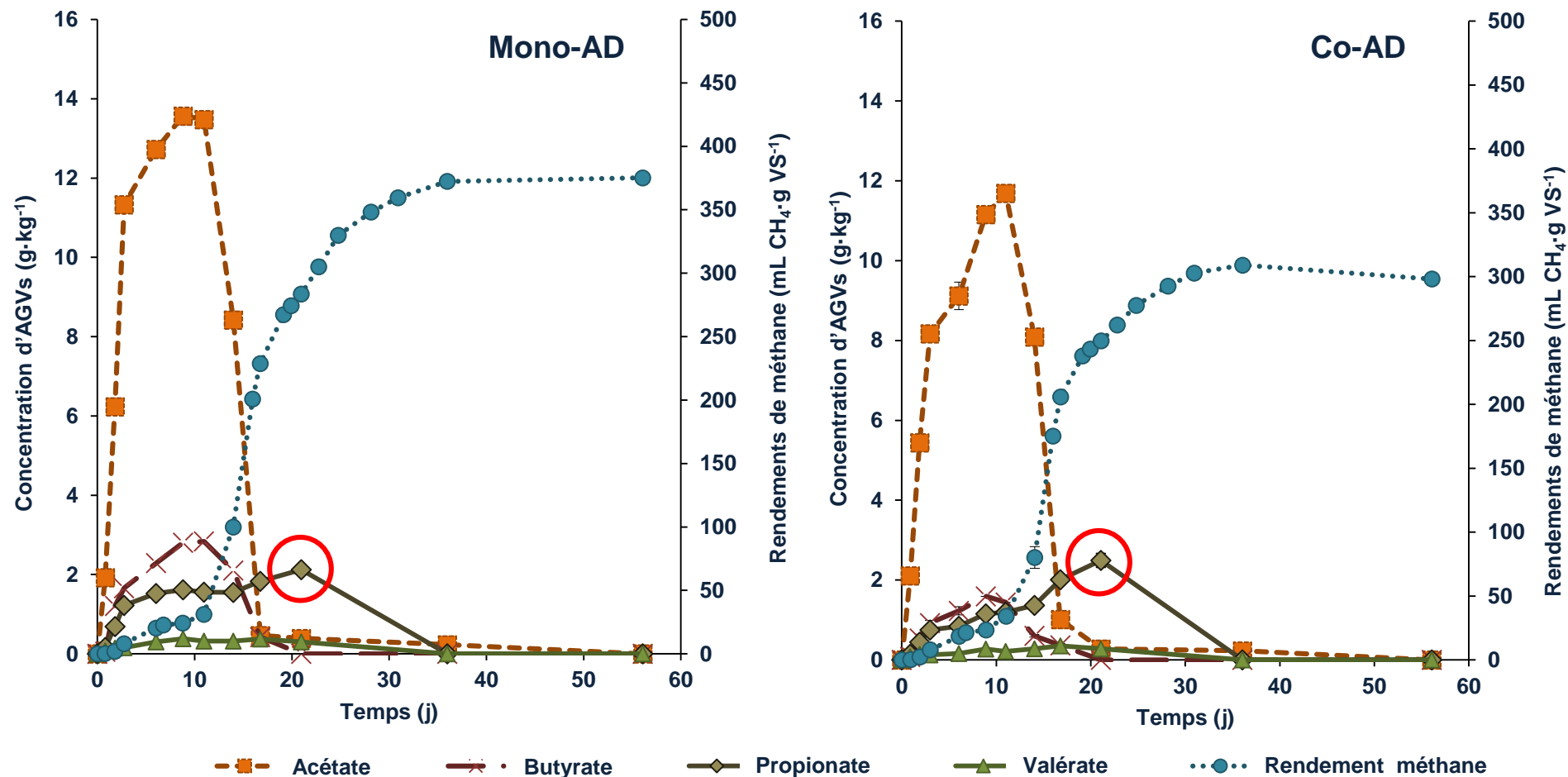
Substrat	MS <sub>0</sub> (%)	S/X (g MV·g MV <sup>-1</sup> )	Productivités de Méthane (l CH <sub>4</sub> ·l <sup>-1</sup> )	Augmentation
Mono-digestion	20	0.25	3.3±0.1	-
Mono-digestion	20	0.50	5.6±0.2	× 1.7
Mono-digestion	20	1.00	9.8±0.5	× 3.0
Co-digestion	20	0.25	2.3±0.3	-
Co-digestion	20	0.50	4.5	× 1.95
Co-digestion	20	1.00	8.4±0.6	× 3.65
Mono-digestion	30	0.25	2.9±0.2	-
Co-digestion	30	0.25	2.0±0.2	-

S/X ↑ → Productivité de CH<sub>4</sub> ↑



# Résultats et discussion

## Dynamique de DA dans les réacteurs les plus chargés ( $S/X = 1$ )





# Résultats et discussion

- Accumulation initiale d'**AGVs**
- Concentrations élevées en **NH<sub>3</sub>** (2.6-5.4 g·kg<sup>-1</sup>)
- Conditions stressantes de DA → Sélection microbienne

> 53 %



**Methano****saeta** (acétotrophe)

VS



**Methano****sarcina**  
(acétotrophe et hydrogénotrophe)

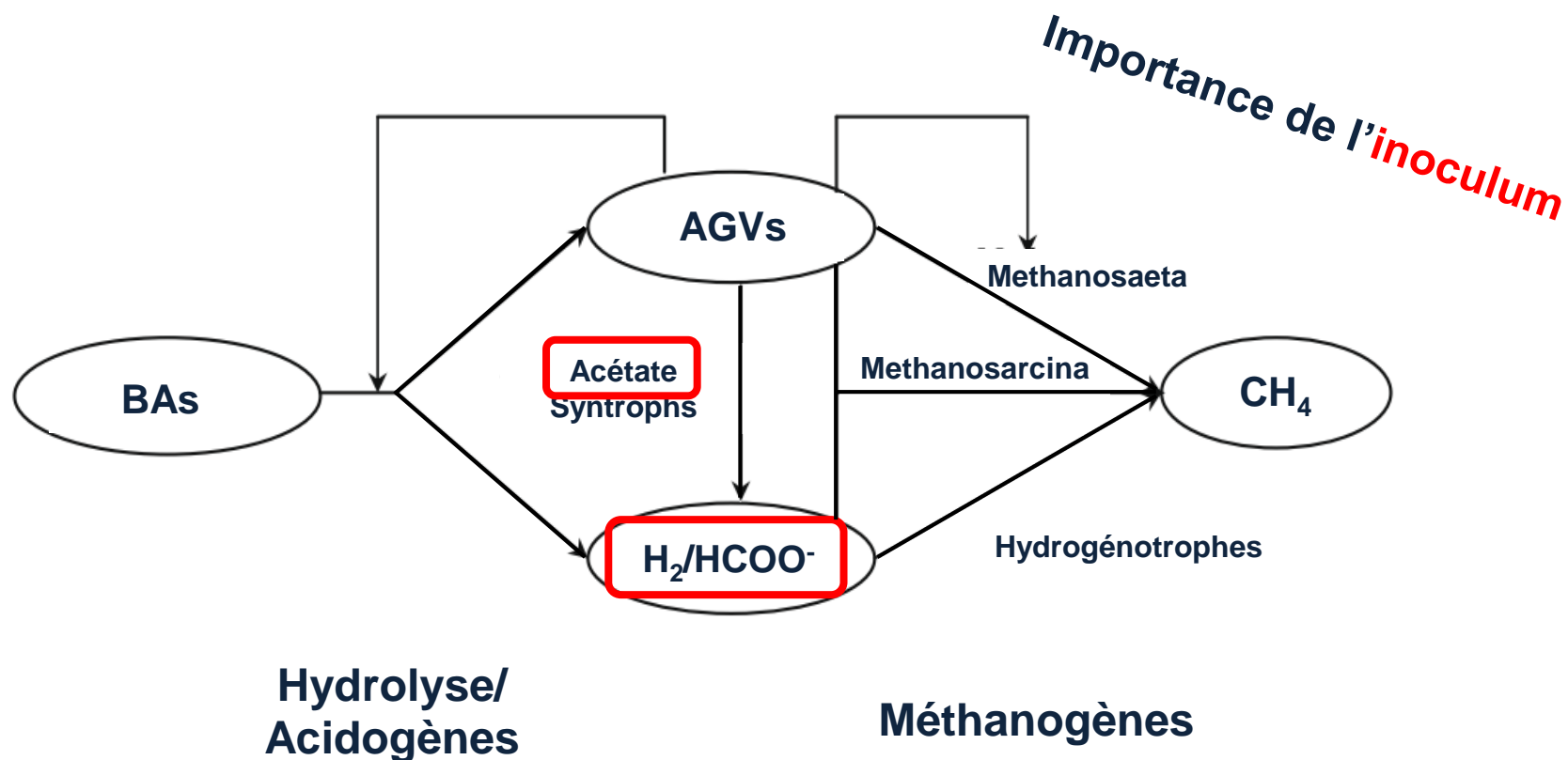
- **Methano****sarcina** comme méthanogène dominant dans tous les réacteurs





# Résultats et discussion

## Voies métaboliques dominantes lors de la DA des BAs Qu et al. (2009)





# Conclusions

- Production de méthane efficace dans tous les réacteurs
- Phases de latence observées liées à l'adaptation de la biomasse initiale: **accumulation initiale d'AGVs**
- Phases de latence plus longues à des teneurs en MS plus élevées
- **Charges** de substrats **plus fortes** → **rendements** plus **faibles** de CH<sub>4</sub> mais **productivités** plus **élevées**
- L'**ajout de carton** permet de limiter l'accumulation initiale d'AGVs et la réduction du rendement de méthane liée à l'augmentation de la charge
- Acide **propionique** comme AGVs plus récalcitrant
- **Methanosarcina** comme principal méthanogène



# Conséquences

- Co-digestion batch de BAs commerciaux + carton faisable
- Adaptation de la biomasse initiale (démarrage comme phase critique): **importance de l'inoculum**
- Nécessité de trouver un compromis de la charge EN BATCH: **rendements méthane VS productivité**
- L'**ajout de carton** peut potentiellement limiter l'accumulation initiale des AGVs et permettre en même temps de hauts rendements à des charges élevés
- Problématique potentielle de l'accumulation d'acide **propionique**: importance de surveiller sa concentration pour le pilotage du procédé

## Merci pour votre attention

Gabriel Capson-Tojo<sup>1,2</sup>, Maxime Rouez<sup>2</sup>, Marion Crest<sup>2</sup>, Eric Trably<sup>1</sup>, Nicolas Bernet<sup>1</sup>, Jean-Philippe Steyer<sup>1</sup>, Jean-Philippe Delgenès<sup>1</sup>, Renaud Escudie<sup>1</sup>

## Questions?

1. L'ÉUR, 12 rue des Fossés, 13001, Marseille, France

2. Suez, CIRSEE, 38 rue du Président Wilson, 78230, France

[gabriel.capson-tojo@supagro.inra.fr](mailto:gabriel.capson-tojo@supagro.inra.fr)



12 avril 2017, Beauvais, FRANCE