

Journées Recherche et Industrie biogaz méthanisation

16-17-18 octobre 2013

Palais des Archevêques de Narbonne

Caractérisation cinétique des substrats solides et Modélisation

M. Torrijos *, P. Sousbie , J. Harmand , S. Garcia-Gen, M. Kouas and J.P. Steyer

* *michel.torrijos@supagro.inra.fr*



JOURNÉES RECHERCHE INDUSTRIE - BIOGAZ MÉTHANISATION

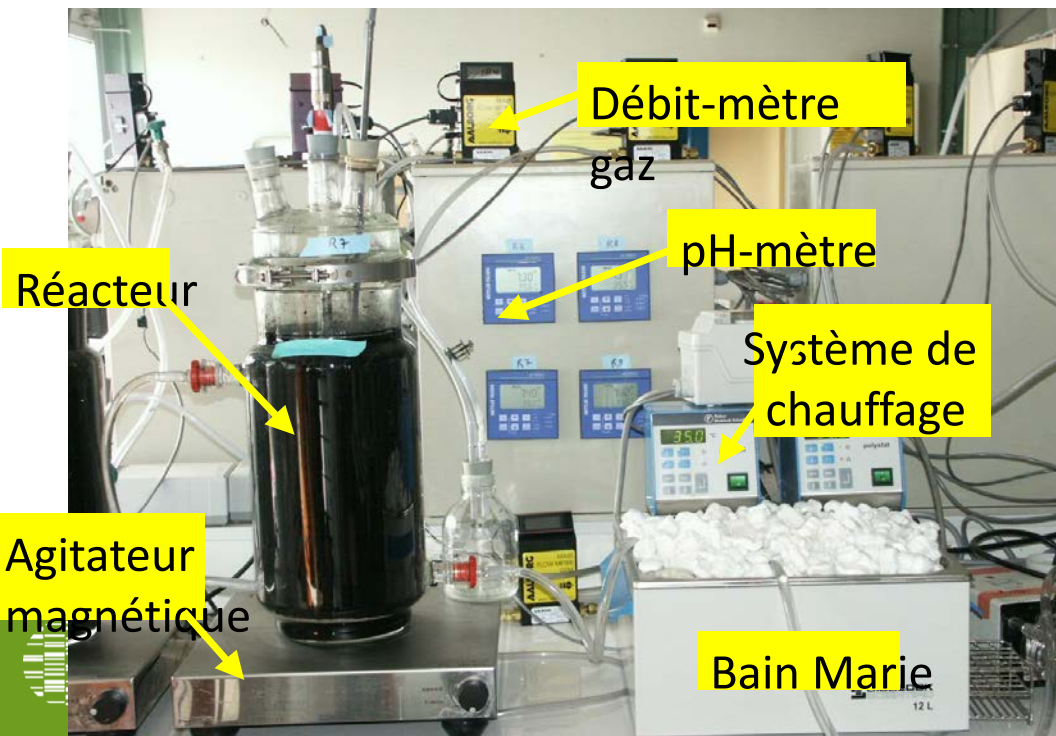
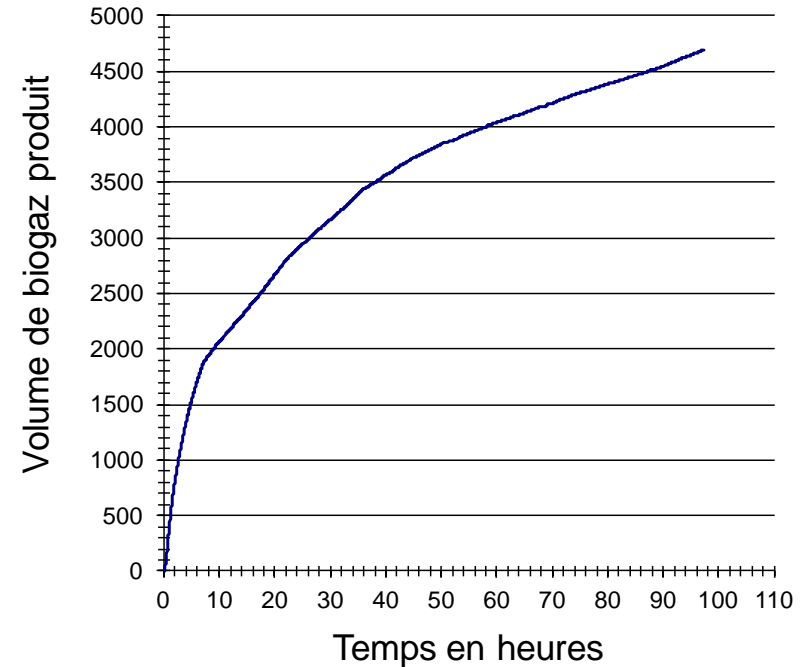
16 - 18 OCTOBRE 2013, NARBONNE



Première partie

Caractérisation cinétique des substrats en réacteur fed-batch

- Le but est de caractériser les substrats solides en réacteur fed-batch de 6L à partir de la courbe de production du biogaz afin de déterminer :
 - ✓ Le potentiel méthane
 - ✓ Les cinétiques de dégradation



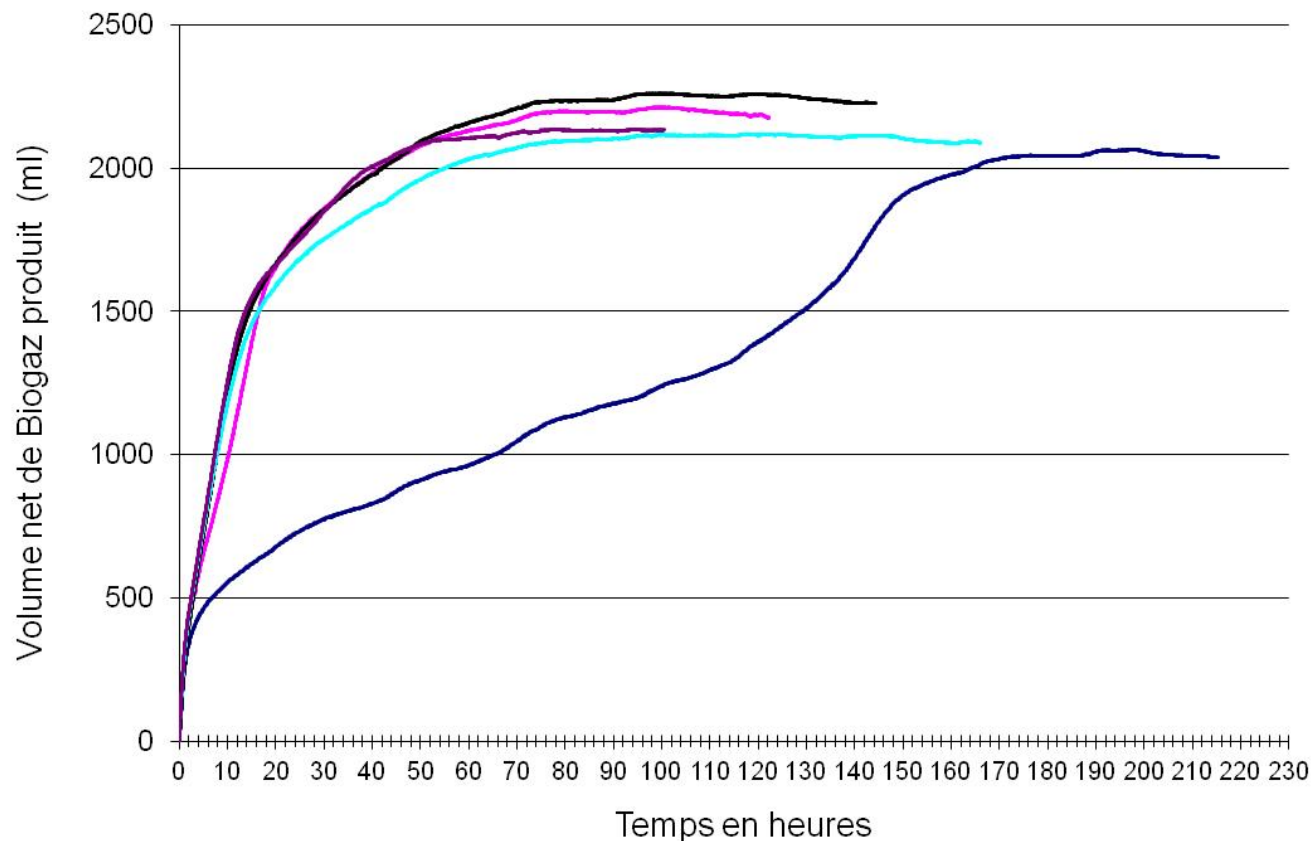
- Les réacteurs utilisés

○ **Protocole en réacteur fed-batch de 6L :**

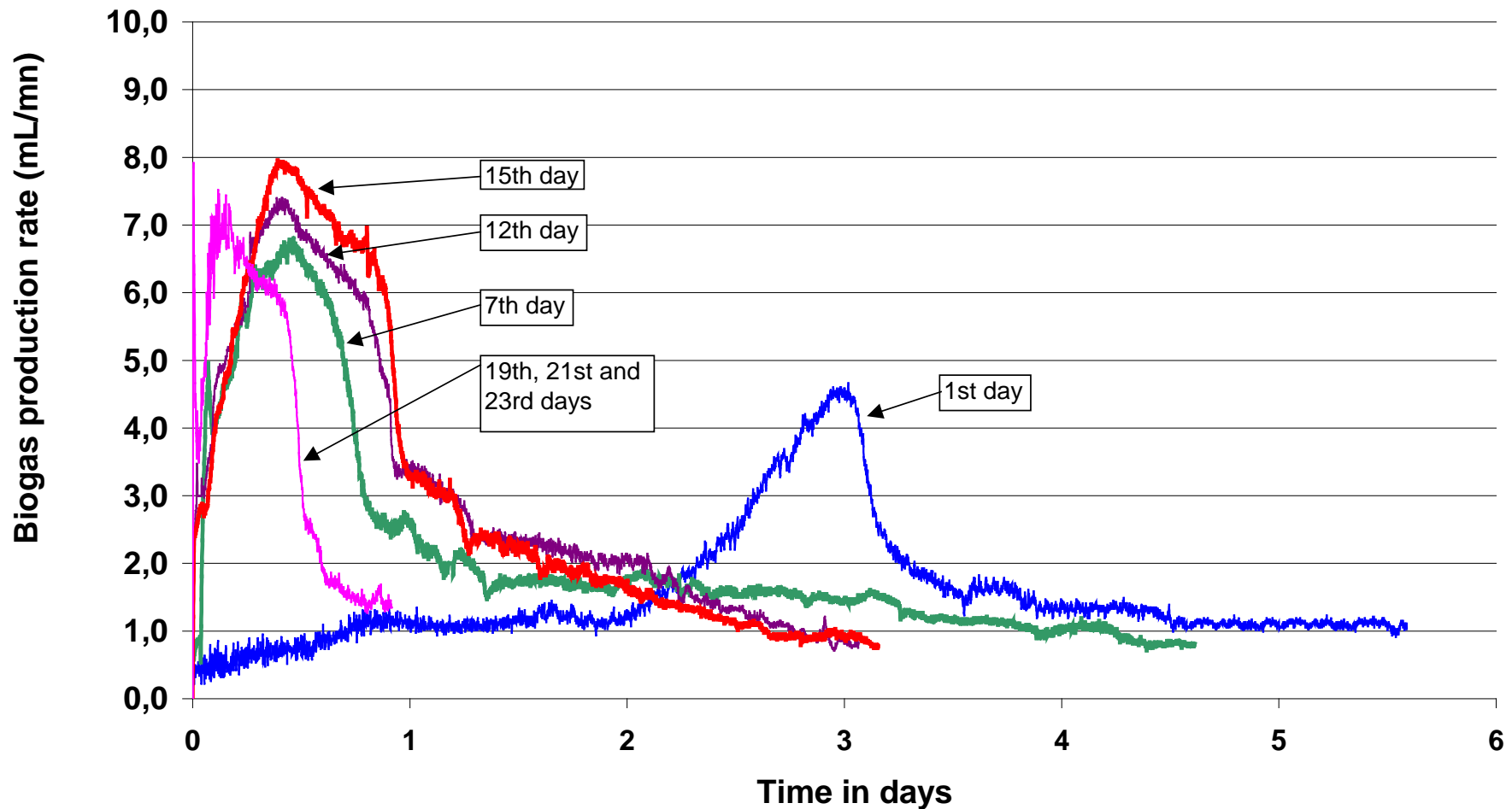
- ✓ Chaque réacteur fonctionne en mode fed-batch pendant environ 2 mois
- ✓ Mesure de l'activité initiale et finale des boues par des ajouts d'éthanol ainsi que de la respiration endogène initiale et finale
- ✓ 3 batchs avec 0.5 g MV/L suivis par 4-5 batchs avec 1 g MV/L (jusqu'à l'obtention d'un profil reproductible pour $\text{Vol}_{\text{biogaz}} = f(t)$)
- ✓ Le volume de biogaz produit est mesuré en ligne et enregistré toutes les 2 minutes pour chaque batch
- ✓ Le volume produit lors du dernier batch est entièrement stocké pour déterminer la composition en méthane
- ✓ La respiration endogène est mesurée pendant les heures qui suivent la fin de la réaction. Elle est supposée être constante pour tout le batch et le volume correspondant est soustrait du volume total

- Les avantages de la méthode par rapport aux tests BMP classiques :

1- **Fonctionnement du réacteur en mode fed-batch** : La mesure est effectuée après 6 à 8 batchs successifs c'est-à-dire avec de la **biomasse acclimatée** et **sans phase de latence**



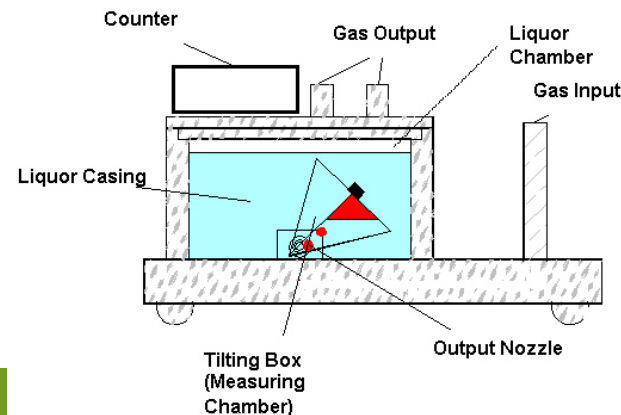
- Exemple d'évolution des cinétiques de production de biogaz lors de batchs successifs :



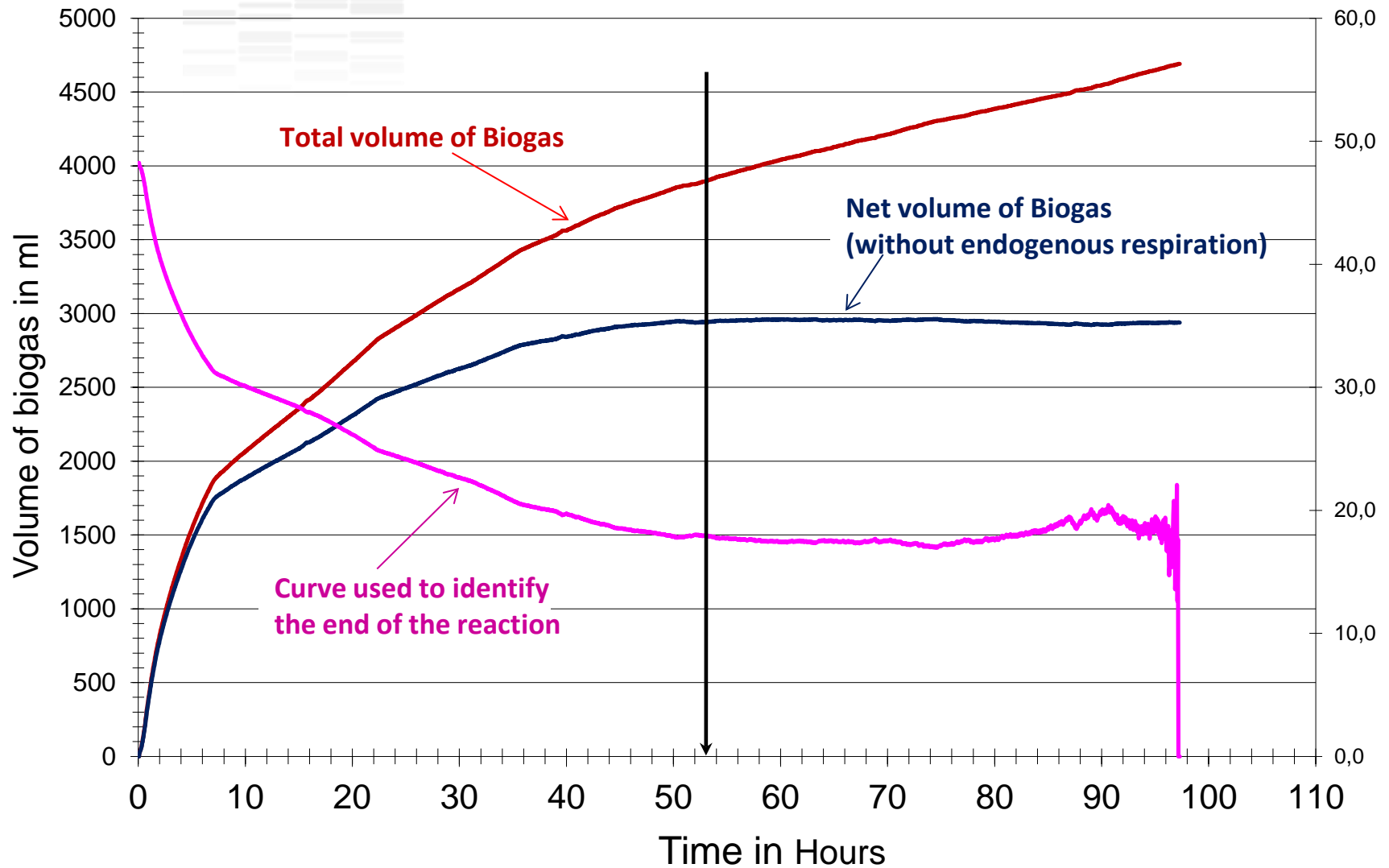
- Les avantages de la méthode par rapport aux tests BMP classiques :
 - 1- Fonctionnement du réacteur en mode fed-batch : La mesure est faite après 6 à 8 batchs successifs c'est-à-dire avec de la biomasse acclimatée et sans phase de latence
 - 2- Le Ratio S_0/X_0 est faible (0,04 à 0,08 g MV/g MVS) au lieu de 0,5 à 1 g MV/g MVS en test BMP
 - ✓ Temps de réaction courts (durée des batchs < 4 - 7 jours)

Caractérisation cinétique des substrats : **Les avantages de la méthode**

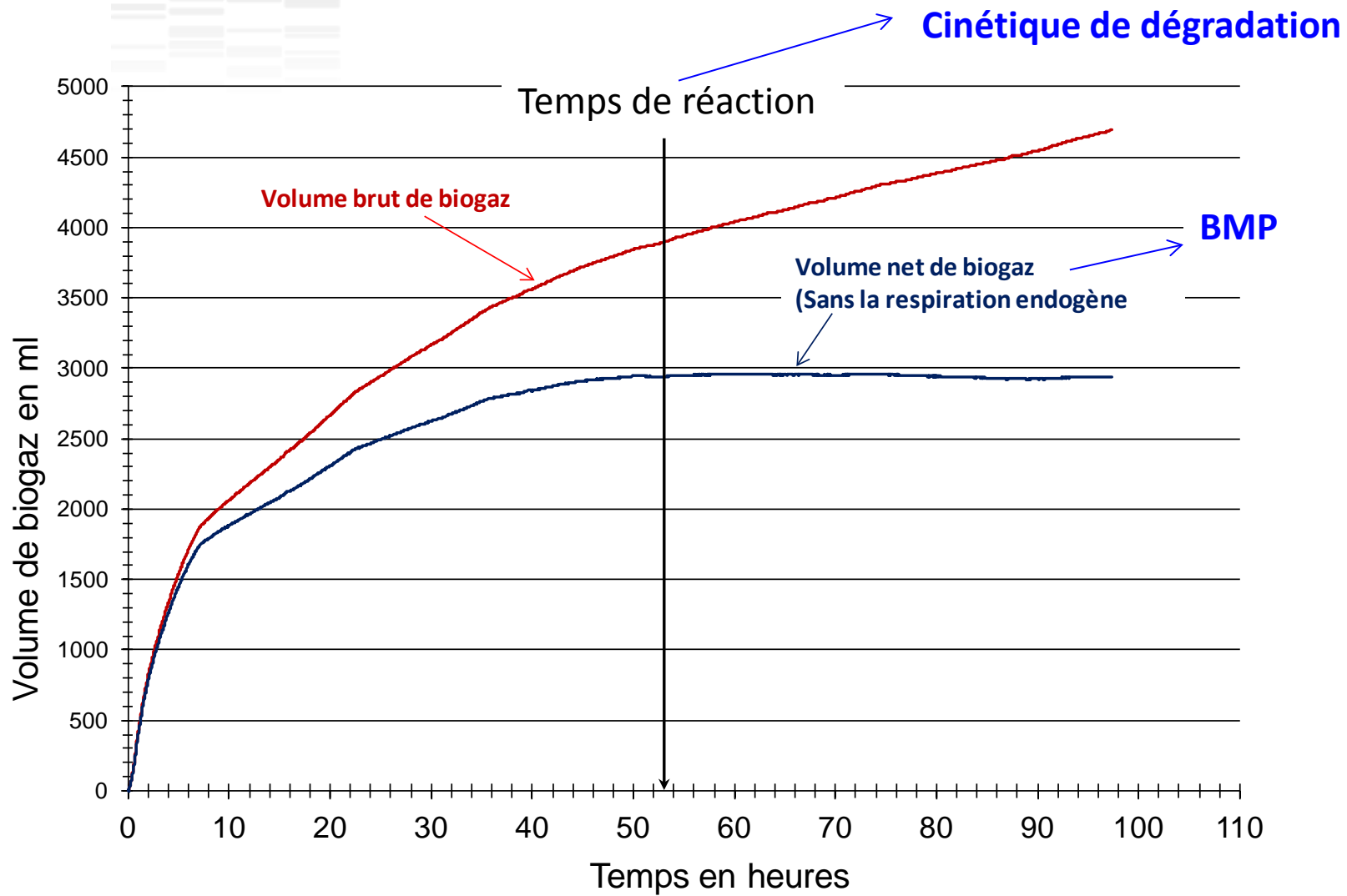
- Les avantages de la méthode par rapport aux tests BMP classiques :
 - 1- Fonctionnement du réacteur en mode fed-batch
 - 2- Le Ratio S_0/X_0 est faible (0,04 à 0,08 g MV/g MVS)
 - 3- Très bonne précision par :
 - L'utilisation d'un volume réactionnel de 6 L
 - La mesure du volume de biogaz produit toutes les **2 minutes** et par incréments de **3 ml de biogaz** correspondant à la dégradation de 1 mg de DCO/l par l'utilisation de milligas-counters de Ritter



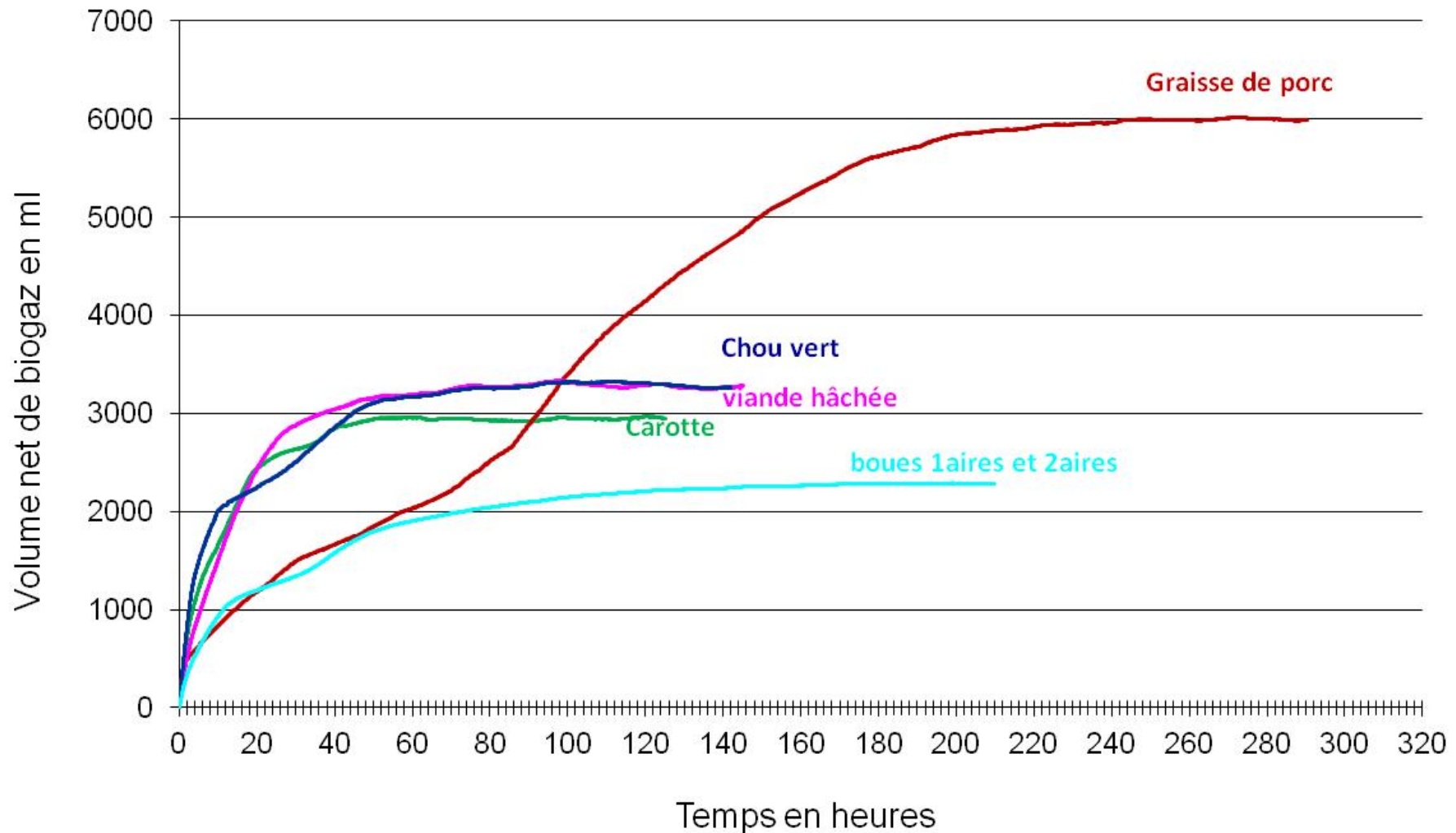
Caractérisation cinétique des substrats : **Le traitement des données**

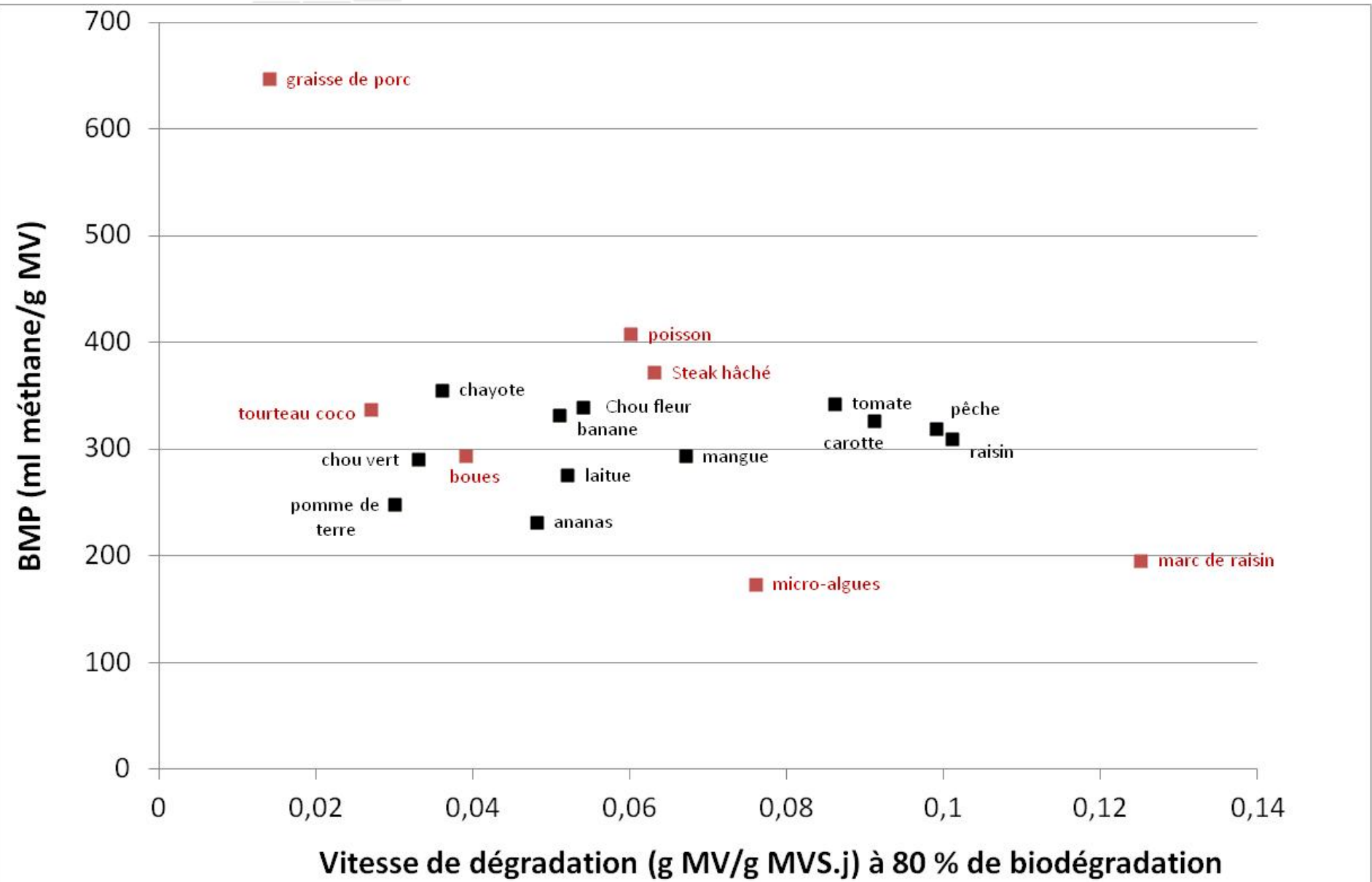


Caractérisation cinétique des substrats : **Le traitement des données**



Courbes nettes pour différents substrats







Deuxième partie

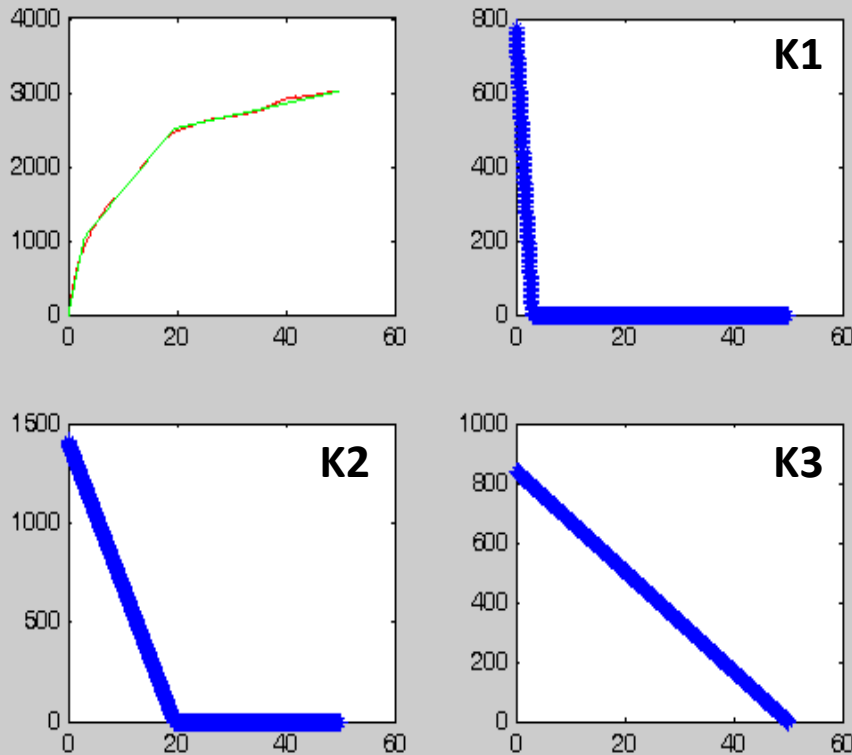
Modélisation

Les données en batch peuvent être utilisées pour :

- 1- La classification des substrats en fonction de leurs cinétiques de dégradation afin de :
 - ✓ Déterminer la charge appliquée spécifiquement pour chaque substrat
 - ✓ Optimiser les mélanges de co-digestion en prenant en compte les vitesses de dégradation propres à chaque substrat
- 2- La modélisation de digesteurs fonctionnant en continu en utilisant :
 - ✓ Un modèle simple pour simuler la production de biogaz d'un réacteur de co-digestion
 - ✓ Le modèle "ADM1-based AcoD" pour simuler le comportement complet d'un réacteur de co-digestion

1- La classification des substrats en fonction de leurs cinétiques de dégradation avec 2 hypothèses :

- ✓ La matière organique est divisée en 3 compartiments ayant des vitesses de dégradation différentes
- ✓ Les réactions sont d'ordre zéro = vitesse de dégradation constante ($dS/dt = -k$)



	vitesse	Qté substrat	% substrat
K1	255	773	26 %
K2	72	1408	47 %
K3	17	841	27 %

Carotte

	vitesse	Qté substrat	% substrat
K1	255	773	26%
K2	72	1 408	47%
K3	17	841	27%

Chou vert

	vitesse	Qté substrat	% substrat
K1	296	1 600	54%
K2	19	1 000	37%
K3	5	370	9%

Steak hâché

	vitesse	Qté substrat	% substrat
K1	113	700	21%
K2	63	1 800	55%
K3	11	800	24%

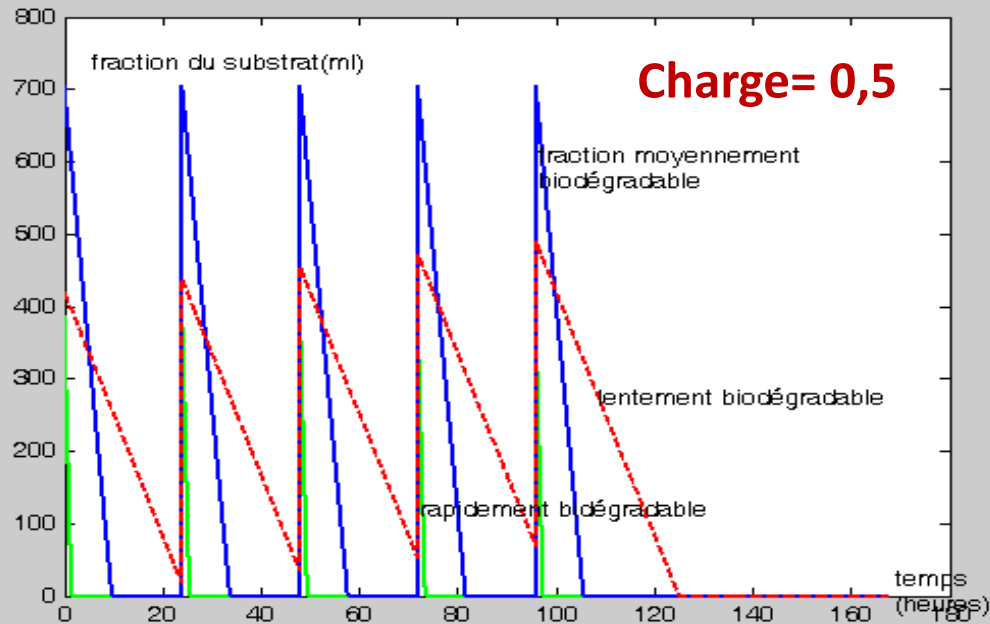
Graisse de porc

	vitesse	Qté substrat	% substrat
K1	43	1 900	37%
K2	-	-	-
K3	7,5	3 300	63%

Mélange boues secondaires et primaires

	vitesse	Qté substrat	% substrat
K1	94	1024	45%
K2	16	790	35%
K3	3	448	20%

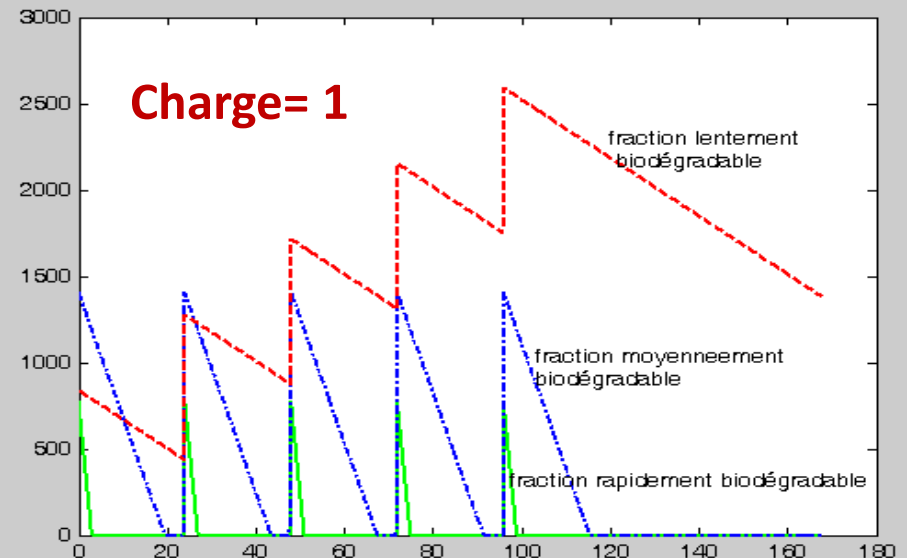
Classification des substrats : **Application à la simulation de réacteurs continus**



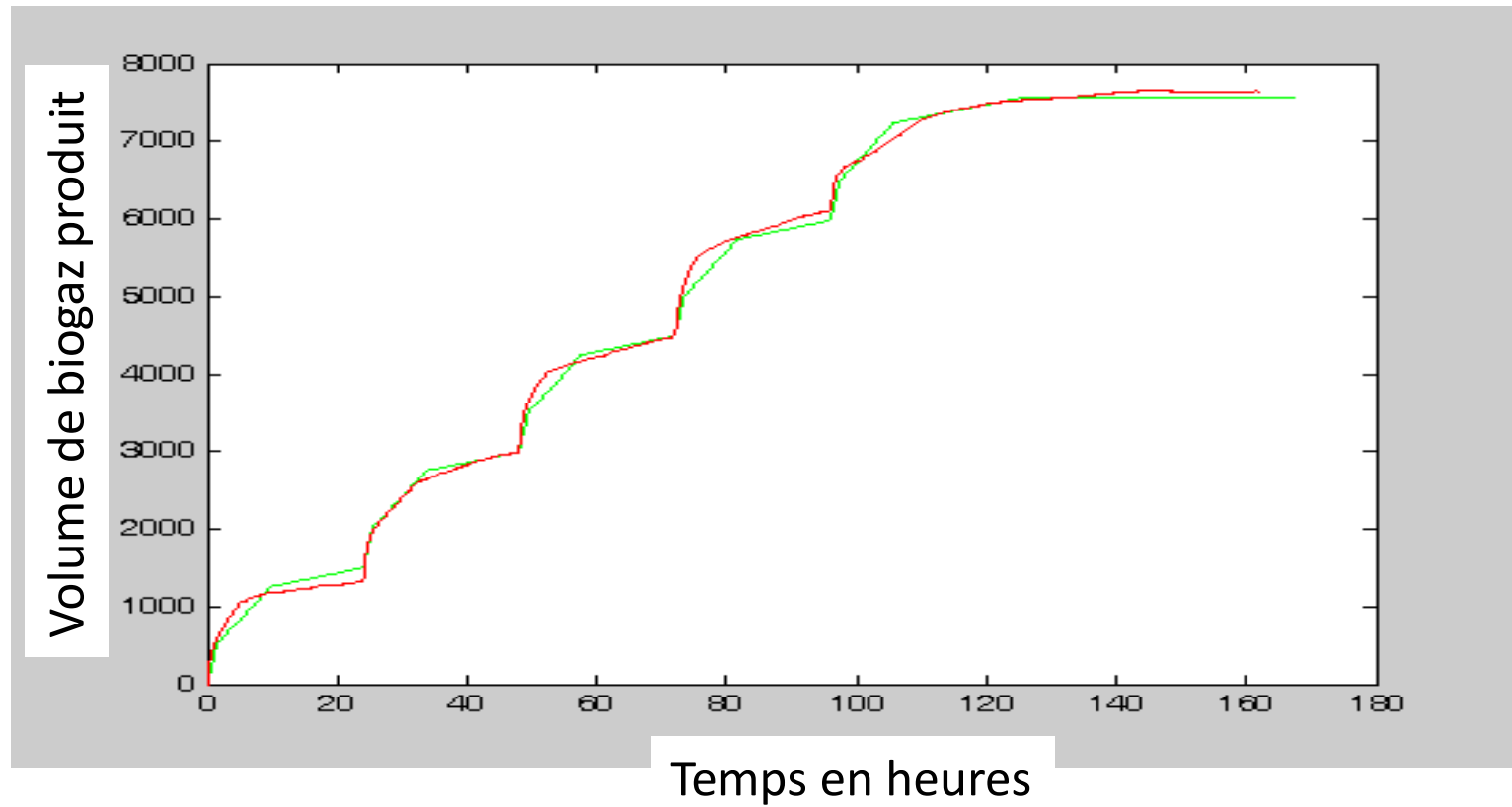
✓ Suivi de l'évolution des 3 fractions au cours du temps dans un digesteur fonctionnant en continu

Applications

- ✓ choix de la cva
- ✓ Optimisation des mélanges



Utilisation du modèle “3 compartiments” pour simuler la production de **biogaz** d'un réacteur de co-digestion

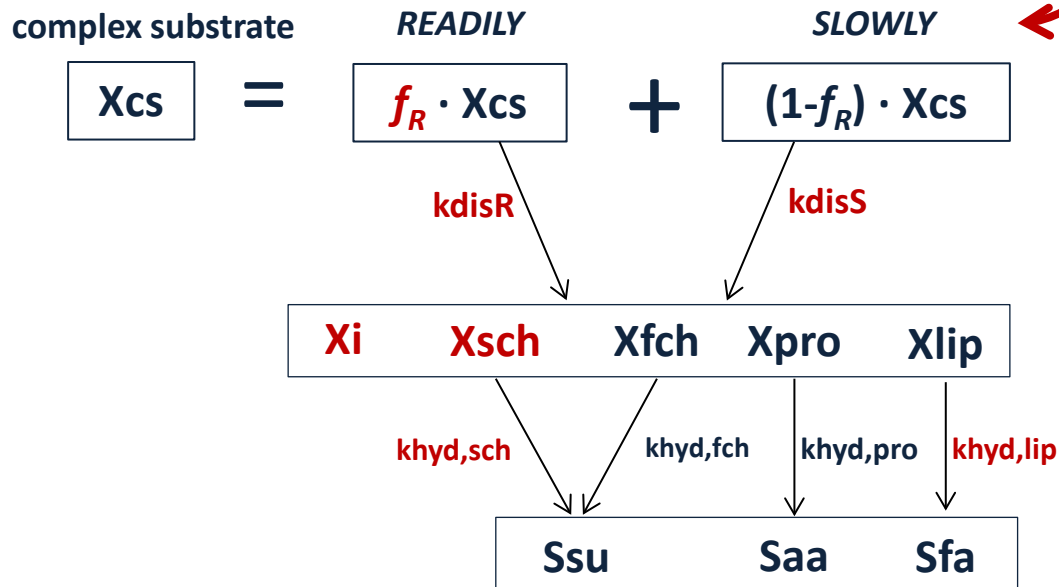


Le but :

- Modélisation des phénomènes de **désintégration/hydrolyse** des solides avec le modèle **ADM1**
- Estimation des **coefficient cinétiques** de désintégration et d'**hydrolyse**
 - **Modélisation des résultats en batch**
 - 9 Fruits et légumes (Source de carbohydrates)
 - 5 Résidus gras (d'huile végétale) (Source de lipides)
 - 1 Résidu de poisson (Source de proteines)
- **Validation du modèle ADM1 en fonctionnement continu :**
 - Simulation d'un digesteur de co-digestion traitant un mélange de 5 fruits et légumes
 - Utilisation des constantes cinétiques obtenues à partir des batchs

Modélisation ADM1-based AcoD

Modifications apportées :



f_R : readily biodegradable fraction

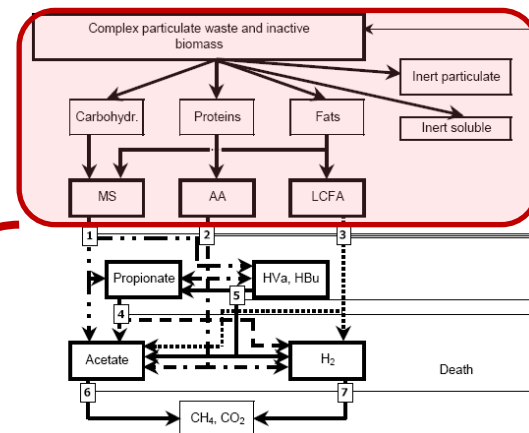
X_i : non-biodegr. fraction of X_{cs}
 X_{sch} : slowly biodegr. carbohydrates
 X_{fch} : fast biodegr. carbohydrates

ADM1-based model:

- Written in molar units
- Adapted to run both AD or AcoD
- Implemented in Matlab/Simulink
- Default ADM1 parameters values

Tasks:

- Estimate f_R , X_i : from **experimental batch test**
- Estimate disintegration/hydrolysis **kinetic coefficients: Model**

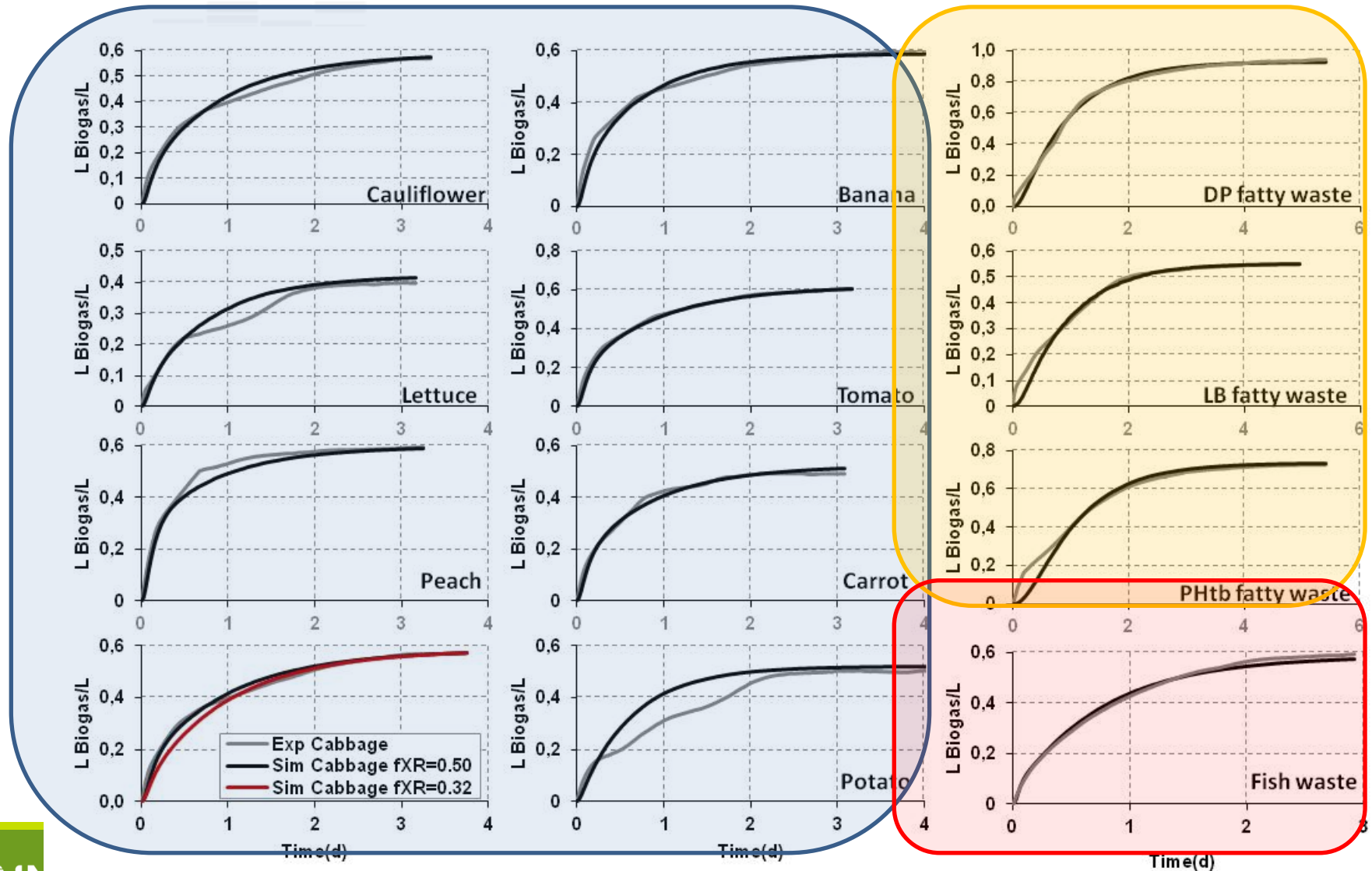


Modélisation ADM1-based AcoD

Operating conditions:

$[S_0]=1$ g VS/L ; $[X_0]=13$ g VSS/L ; $S_0/X_0=0.08$
 $V_{\text{liquid}}=6.0$ L mesophilic conditions

Simulation des batchs :

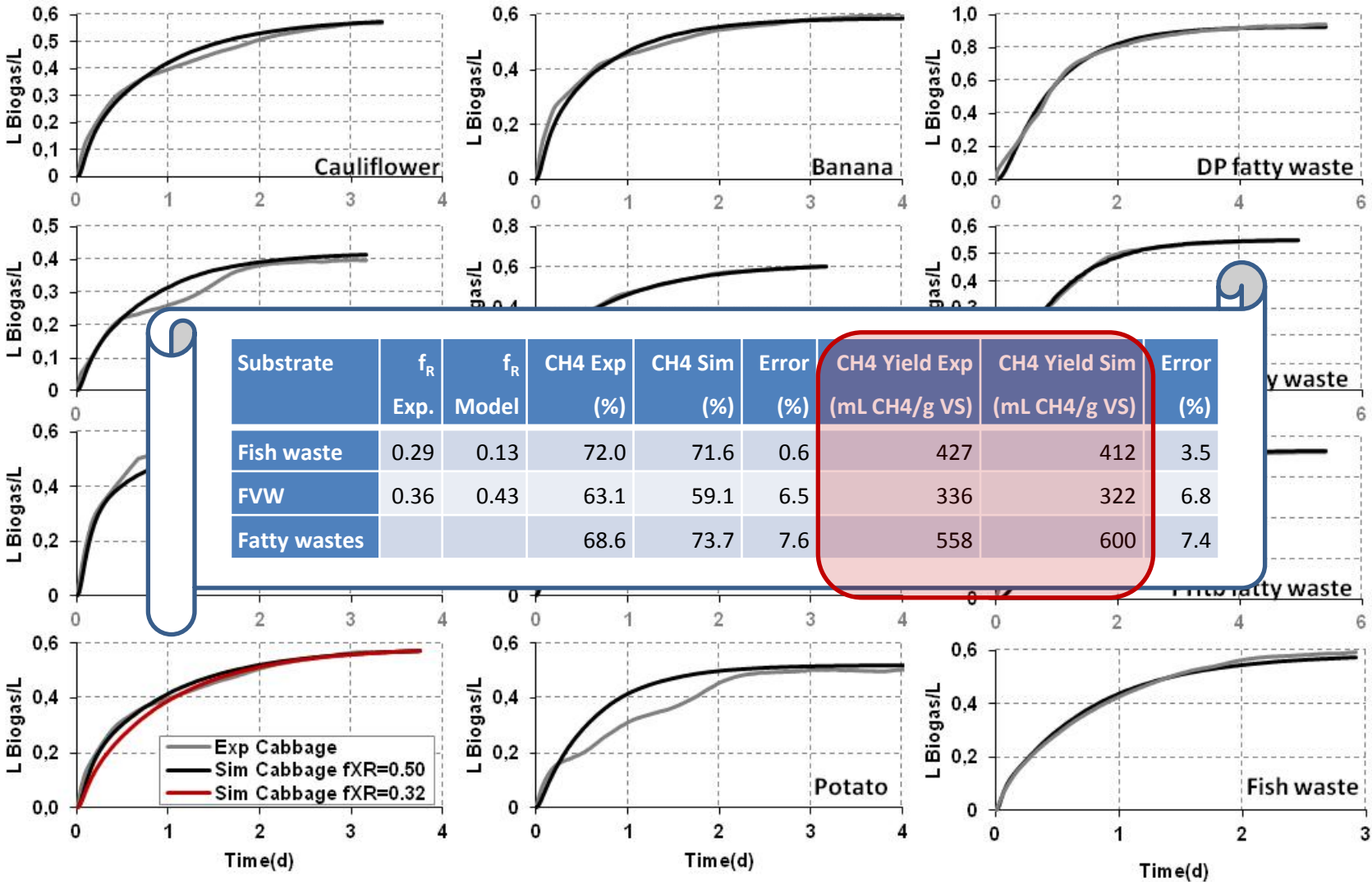


Operating conditions:

$[S_0]=1 \text{ g VS/L}$; $[X_0]= 13 \text{ g VSS/L}$; $S_0/X_0 = 0.08$

$V_{\text{liquid}}=6.0 \text{ L}$ mesophilic conditions

Simulation des batchs :



Application à la simulation d'un digesteur de co-digestion en continu

- Mélange de 5 Fruits et légumes

Laitue, pomme, pomme de terre, banane, carotte

2,0 g MV/L·d (semaines 1-10)

3,8 g MV/L·d (semaines 12-14)

4,7 g MV/L·d (semaine 15).

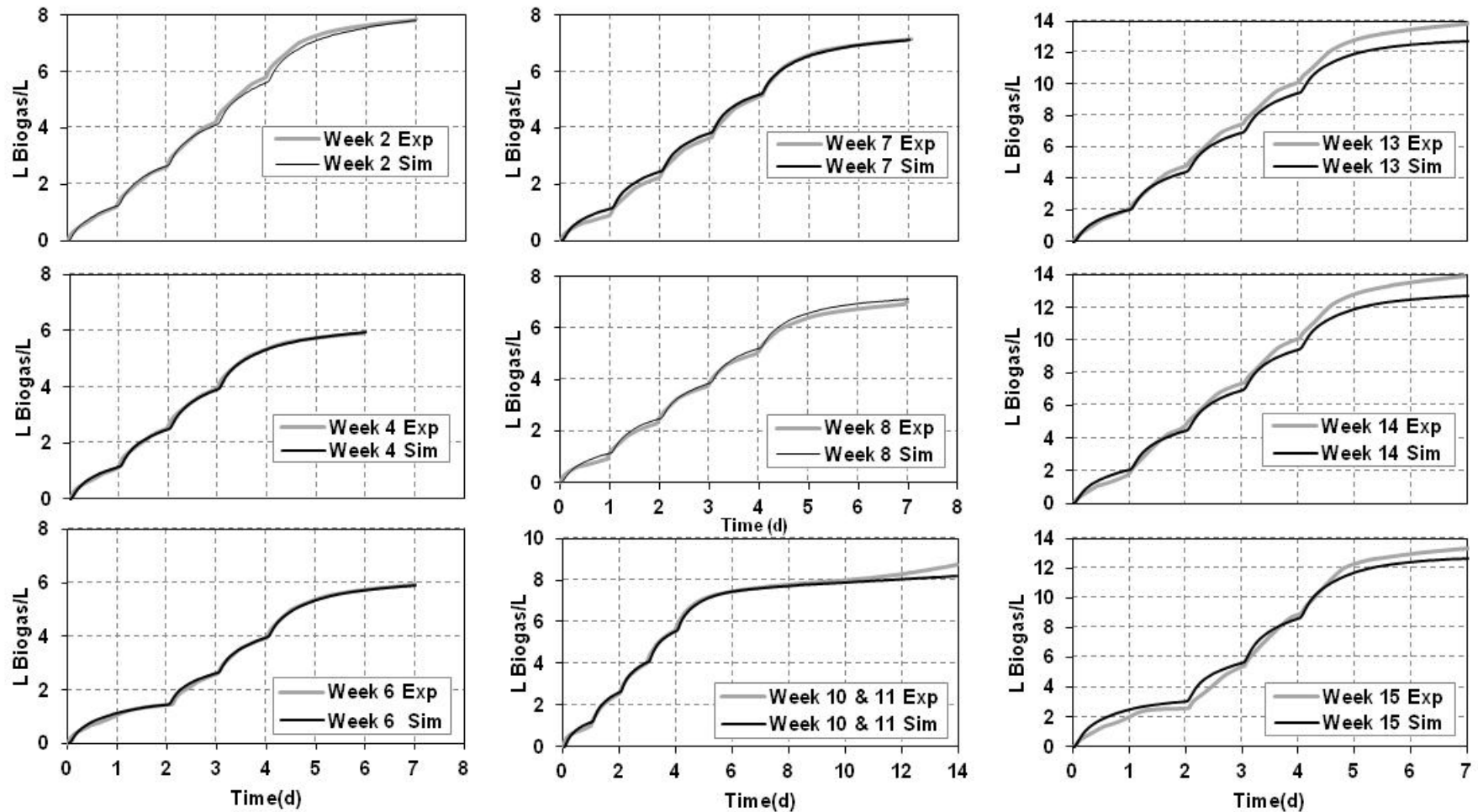




blend of 5 FVW

(lettuce, apple, potato, banana, carrot)
2.0 g VS/L· d (first 10 weeks)
3.8 g VS/L· d (weeks 12-14)
4.7 g VS/L· d (week 15).

Simulation de la co-digestion en continu :



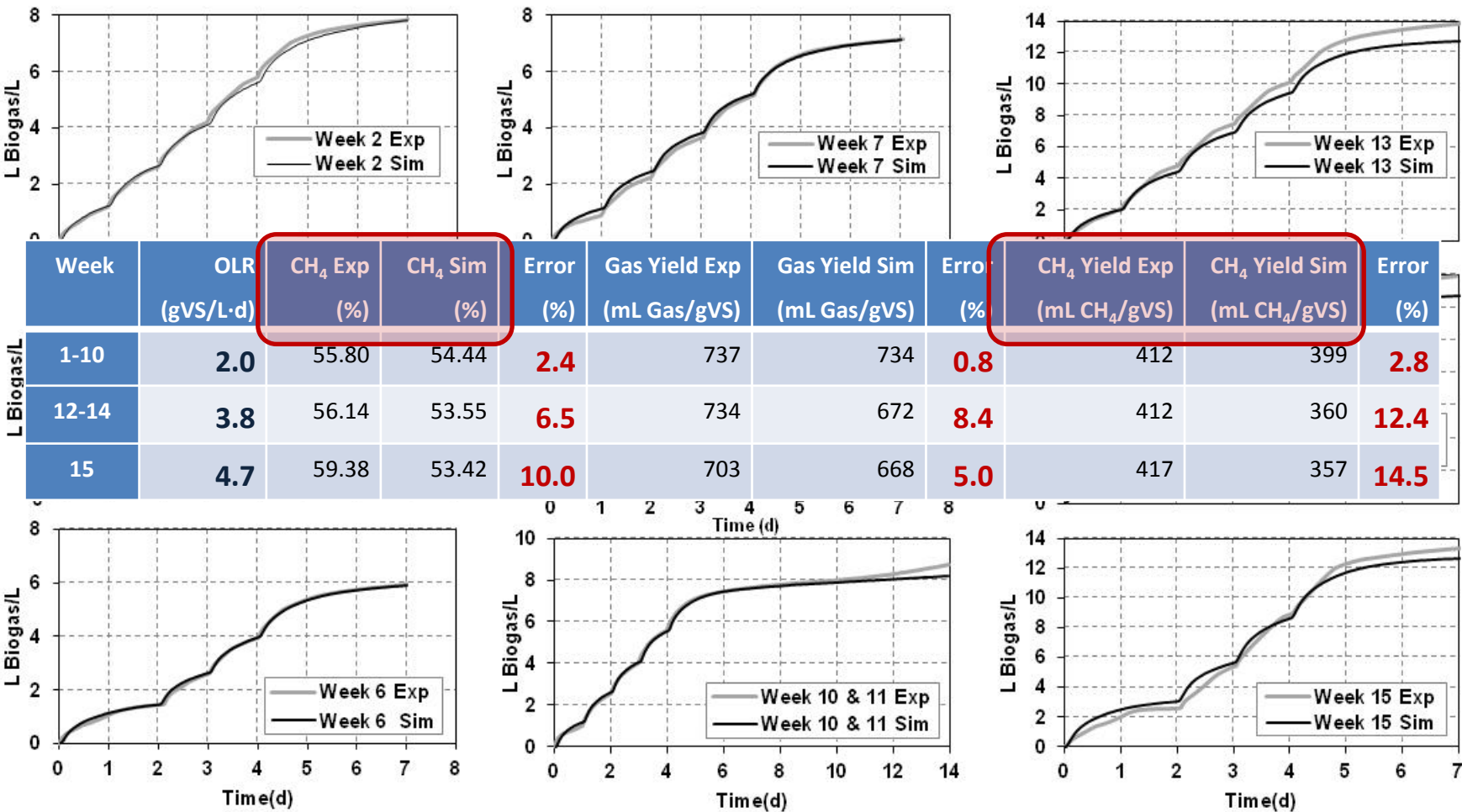


blend of 5 FVW

(lettuce, apple, potato, banana, carrot)

OLR { 2.0 g VS/L·d (first 10 weeks)
3.8 g VS/L·d (weeks 12-14)
4.7 g VS/L·d (week 15).

Simulation de la co-digestion en continu :

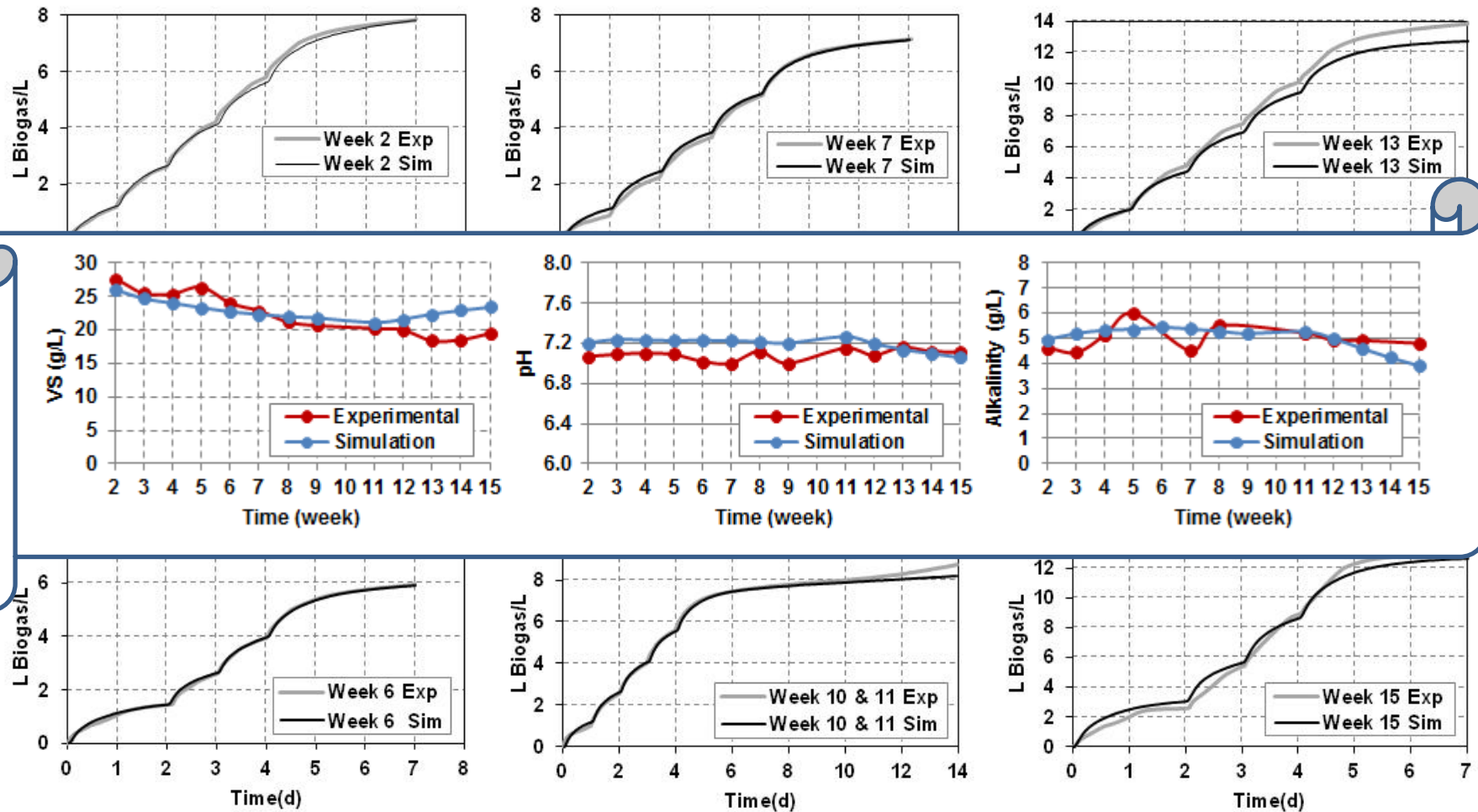


Simulation de la co-digestion en continu :

blend of 5 FVW

(lettuce, apple, potato, banana, carrot)

OLR { 2.0 g VS/L· d (first 10 weeks)
3.8 g VS/L· d (weeks 12-14)
4.7 g VS/L· d (week 15).



Merci de votre attention

Michel TORRIJOS
Michel.torrijos@supagro.inra.fr

