

Montée en échelle d'un procédé de biométhanation *ex situ* à pression atmosphérique



S. CHEIKH NIANG¹, L. NAIT AHMAD¹, S. PACAUD², G. HENRY¹, S. DELAUNAY³

¹ Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires, Université de Lorraine
² Métha Développement, 35000 Rennes, France
³ Laboratoire Réactions et Génie des Procédés, UMR 7274 Université de Lorraine, Centre National de la Recherche Scientifique

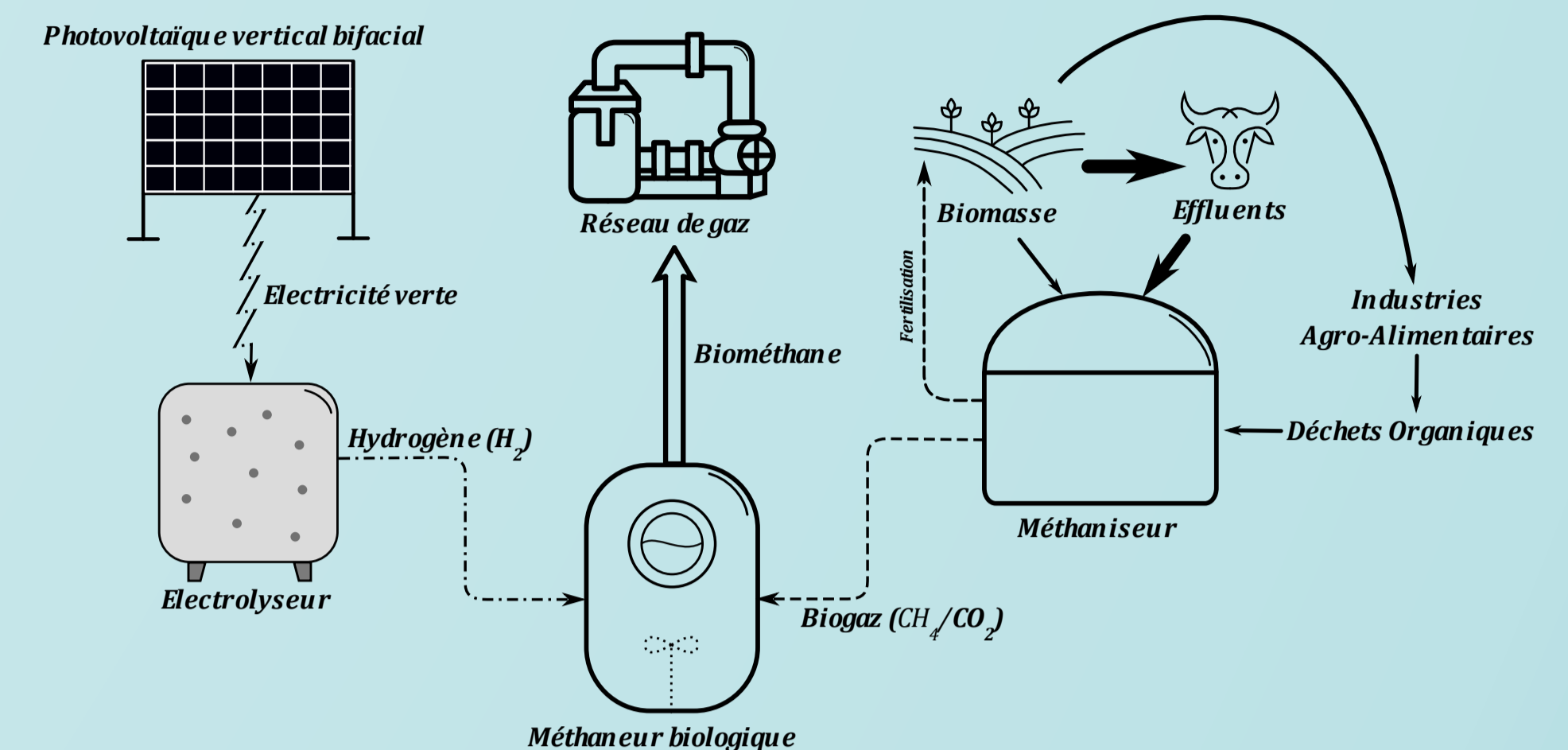


Bien que des performances similaires aient pu être obtenues lors de travaux récents entre la biométhanation *in-situ* et la biométhanation *ex-situ* en termes de teneur en méthane, les procédés *ex-situ* peuvent aujourd'hui être considérés comme les plus performants pour la biométhanation (Figeac *et al.*, 2020 ; Thema *et al.*, 2021 ; Jonson *et al.*, 2022 ; Ghofrani-Isfahani *et al.*, 2022 ; Laguillaumie *et al.*, 2022 ; Rafrafi *et al.*, 2021).

Le découplage de l'étape de méthanation des autres étapes de la digestion anaérobie, et notamment de l'hydrolyse et de l'acétogénèse, permet de s'affranchir des inhibitions de ces étapes par une pression partielle en hydrogène trop importante.

Les performances des procédés de biométhanation sont dépendantes de la rhéologie du milieu de culture utilisé. Des rhéologies trop complexes, notamment avec des milieux de culture, de type digestats, présentant des taux de matière organique importants peuvent limiter fortement le transfert en hydrogène mais aussi de CO₂ en biométhanation *in-situ*.

Dans le cadre du développement d'un procédé de biométhanation pouvant s'insérer dans une stratégie de Power-to-Gaz agricole, un procédé *ex situ*, avec transfert d'un mélange de H₂/CO₂ (ratio 4 :1) par l'intermédiaire de membranes poreuses céramiques a été développé.



Modèle du Power-To-Gaz agricole développé à la F.E. de la Bouzule (ENSAIA - Université de Lorraine)

Approche méthodologique



- RPA 2 L
- Transfert gaz surfacique
- Surpression 200 mbar
- Analyse du biogaz toutes les 24 h
- Inoculum initial : digestat
- Enrichissement du consortium en archées hydrogénotrophes
- Validation du milieu de culture

consortium issu des cultures en RPA 2L

Paramètres de culture conservés :
 CO₂:H₂ = 1:4 (20/80)
 Hydrolysats

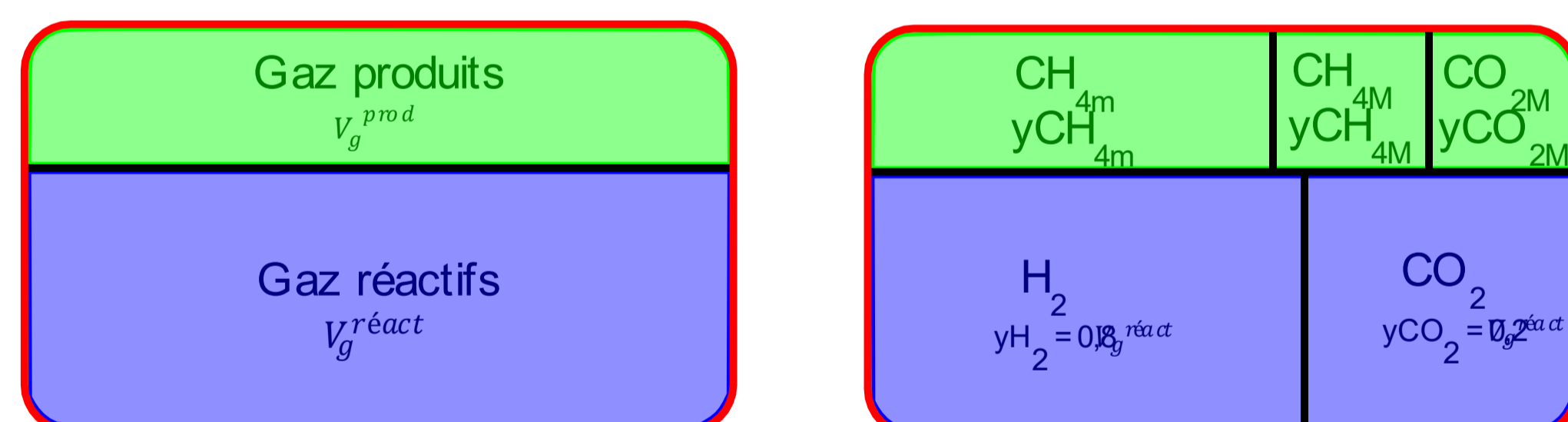
- RPA 100L
- Transfert gaz par membrane poreuse céramique
- Pression atmosphérique
- Analyse du biogaz en continu
- Montée en échelle de la production de CH₄
- Conditions mésophiles vs conditions thermophiles



Méthanation vs méthanisation ? Cas d'étude en RPA 2L

L'enrichissement en archées hydrogénotrophes d'un consortium de méthanisation n'est pas total. De fait, une digestion anaérobie résiduelle persiste et produit du CO₂ endogène. Pour caractériser la part de méthanisation dans la production de méthane de méthanation (CH_{4m}) des RPA de 2L, les hypothèses sont :

- Le méthane de méthanisation provient uniquement de la voie acétotrophe → biogaz à 50 % CH_{4M}/50 % CO_{2M}.
- En régime permanent, la consommation du mélange CO₂/H₂ se fait dans les proportions stœchiométriques → le ratio 1:4 est conservé pour les gaz réactifs.



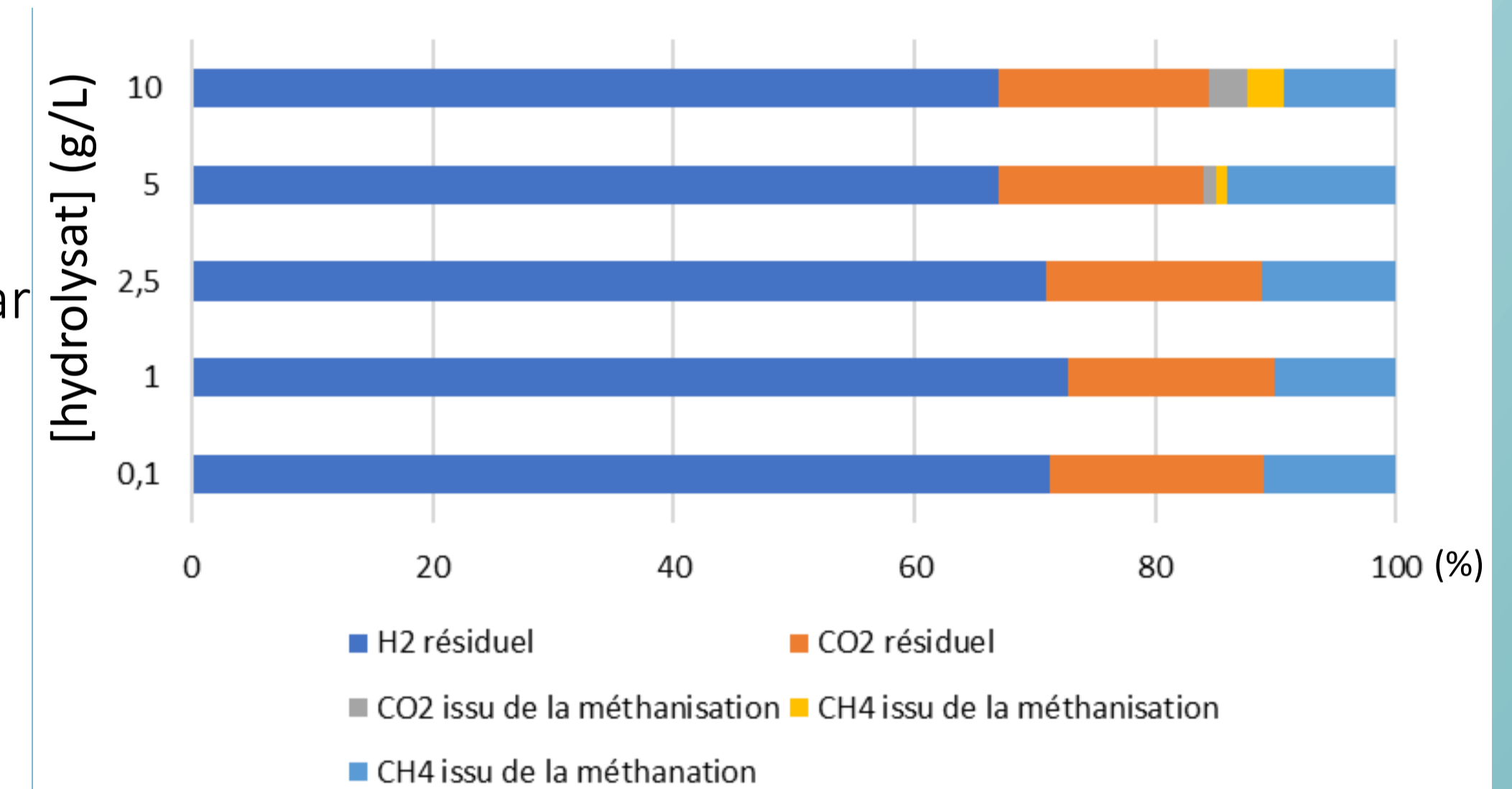
Bilans sur la phase gaz des RPA 2L

La composition des gaz issu des RPA 2L, mesuré par microGC, est notée : yCH_{4mes} , yCO_{2mes} , yH_{2mes} . On a donc d'après les bilans sur chaque espèce :

$$\begin{cases} yH_{2mes} = yH_2 \\ yCO_{2mes} = yCO_2 + yCO_{2M} \\ yCH_{4mes} = yCH_{4m} + yCH_{4M} \end{cases} \quad \text{Or, d'après les hypothèses :} \quad \begin{cases} yCH_{4M} = yCO_{2M} \\ yH_2 = 4 yCO_2 \end{cases}$$

Soit en reformulant :

$$yCH_{4m} = yCH_{4mes} - \left(yCO_{2mes} - \frac{yH_{2mes}}{4} \right)$$



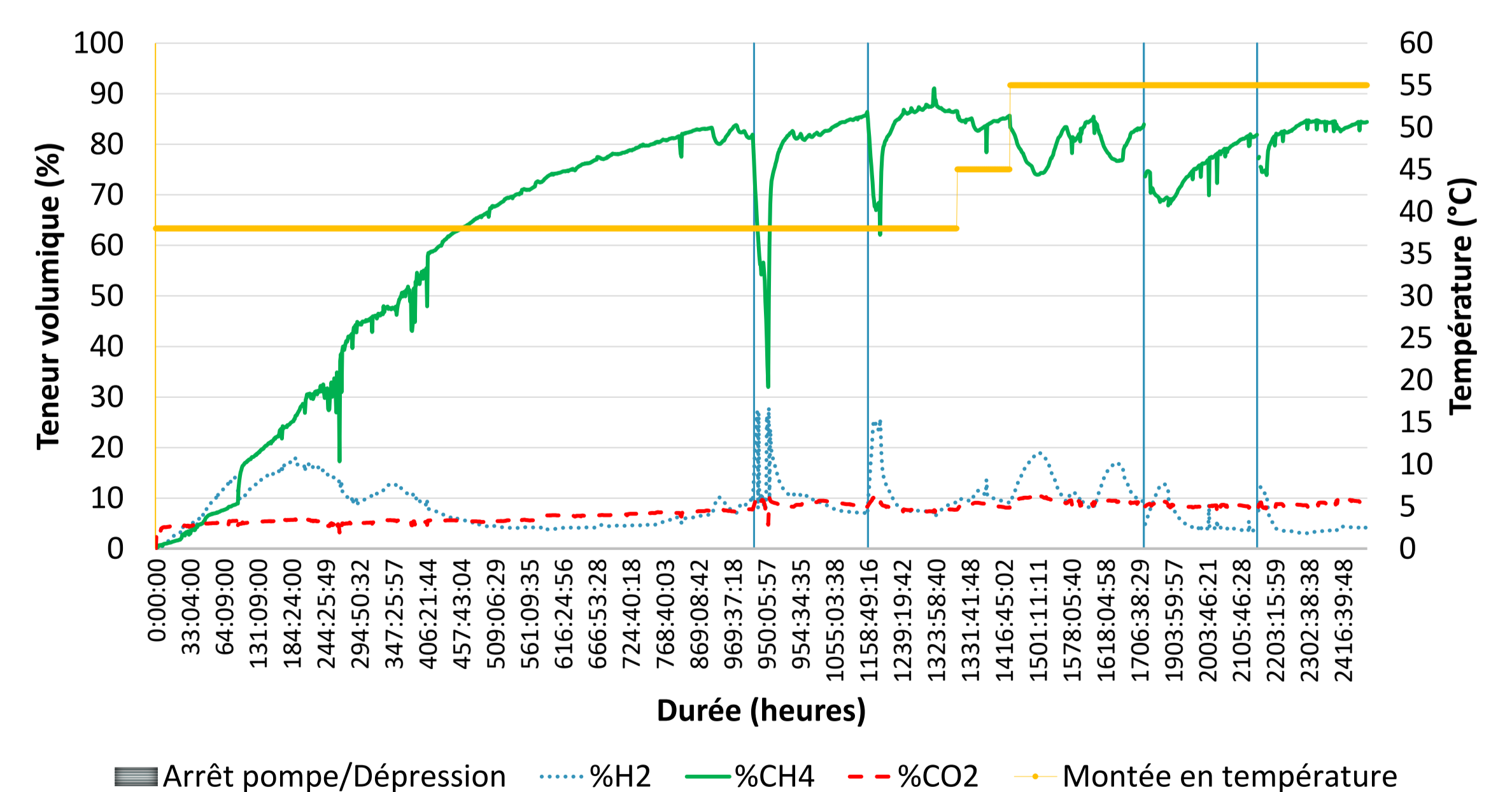
- Production de CH₄ par méthanisation dès 5 g/L
- A 10 g/L, c'est 25 % du méthane produit qui provient de la méthanisation

Montée en échelle du procédé de biométhanation à l'échelle pilote 100 L

Après enrichissement du consortium de méthanisation en archées hydrogénotrophes dans des conditions mésophiles, il est transféré dans le bioréacteur de 100 L pour une exploitation en continu. Au démarrage, le ciel gazeux est totalement inerté par de l'azote (anaérobie stricte).

L'expérience réalisée a permis de valider les points suivants :

- Production d'un biogaz à haute qualité en méthane : 85 % en régime permanent
- Transition rapide réussie en 2 étapes du consortium des conditions mésophiles à thermophiles.
- En cas de problématique du process, le retour aux conditions nominales en dessous du temps de séjour du gaz dans le réacteur.



Conclusions et Perspectives

- ✓ Activité hydrogénotrophe optimale avec 1 g/L d'hydrolysats
- ✓ En conditions mésophiles : production d'un biogaz composé de 85% de méthane, 7% de CO₂ et 8% de H₂ à un débit de 4 L.j⁻¹.
- ✓ La transition du régime mésophile à thermophile (55°C) n'a pas eu d'impact significatif sur la productivité en biogaz et la composition de ce dernier
- La suite de la montée en échelle en cours : augmentation du débit de gaz converti + passage à l'échelle démonstrateur pour validation.

Références

Figeac N, Trably E, Bernet N, Delgenès J-P, Escudé R. *Molecules*, 2020, 25(23), 5665.
 Ghofrani-Isfahani P, Tsapekos P, Peprah M, Kougias P, Zervas A, Zhu X., Yang Z, Jacobsen C S, Angelidaki, I. *Chemosphere*, 2022, 296, 133987.
 Jonson B D, Tsapekos P, Ashraf M T, Jeppesen M, Schmidt J E, Bastidas-Oyanedel J R. *Bioresour. Technol.*, 2022, 365, 128160.
 Laguillaumie L, Rafrafi Y, Moya-Leclair E, Delagnes D, Dubos S, Spérandio M, Paul E, Dumas C. 2022, 354, 127180.
 Rafrafi Y, Laguillaumie L, Dumas C. *Waste and Biomass Valorization*, 2021, 12, 5259.
 Thema M, Weidlich T, Kaul A, Böllmann A, Huber H, Bellack A, Karl J., Sterner M. *Bioresour. Technol.*, 2021, 333, 125135.

Avec le soutien de

