



HAL
open science

Détermination des limites de production de biogaz de digesteurs pour une production flexible

Wendy Laperriere, Michel Torrijos, B. Péchiné, M.A. Garnero, Jean-Philippe Steyer

► **To cite this version:**

Wendy Laperriere, Michel Torrijos, B. Péchiné, M.A. Garnero, Jean-Philippe Steyer. Détermination des limites de production de biogaz de digesteurs pour une production flexible. Journées de la Méthanisation : Applications Agricoles et Industrielles, Moletta Méthanisation. FRA., Dec 2016, Chambéry, France. hal-01603927

HAL Id: hal-01603927

<https://hal.science/hal-01603927>

Submitted on 3 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DETERMINATION DES LIMITES DE PRODUCTION DE BIOGAZ DE DIGESTEURS POUR UNE PRODUCTION FLEXIBLE

W. Laperrière ^{a,b}, M. Torrijos ^a, B. Pechiné ^b, M.A. Garnero ^b, J.P. Steyer ^a

^a *LBE, INRA, 102, Avenue des Etangs, F-11100, Narbonne, France*

^b *EDF R&D, Département STEP, 6 quai Watier, 78401 Chatou, France*

MOTS-CLES : biogaz, flexibilité, limites, surcharges organiques, production à la demande

PROBLEMATIQUE

Dans un contexte de déplétion des ressources énergétiques fossiles, les énergies renouvelables prennent une part de plus en plus importante dans la production d'électricité. En effet, il devient primordial de développer l'exploitation des ressources renouvelables, a fortiori celles qui sont illimitées comme les énergies solaire et éolienne. Cependant, l'augmentation de la part de ces deux énergies dans les mix énergétiques futurs peut conduire à des problèmes de stabilité de la production; en effet, leur production peut être prévue, mais pas contrôlée, au vu de leur dépendance aux conditions météorologiques. Cette production peut alors grandement différer de la demande, et de provoquer des incidents sur l'infrastructure électrique, qui n'est actuellement pas dimensionnée pour intégrer ces fluctuations. Or, une autre source d'énergie renouvelable permet un stockage intermédiaire qui peut servir de tampon à ces fluctuations : la biomasse, et la digestion anaérobie de celle-ci qui produit du biogaz pouvant être utilisé en cogénération pour fournir à la fois de la chaleur et de l'électricité[1].

La production de biogaz est l'ultime étape de réactions biologiques et physico-chimiques complexes se déroulant lors de la digestion anaérobie. La littérature a montré que même soumis à des fluctuations en entrée, ces systèmes bactériens pouvaient s'adapter [2], [3]. Une certaine flexibilisation de la production de biogaz est donc possible. Or, pour gérer des variations de charge organique sans introduire de dysfonctionnements à long terme sur un réacteur, il faut tout d'abord étudier l'intervalle dans lequel la charge peut varier. L'objectif de ce travail est donc de déterminer les limites de fonctionnement et la répartition temporelle de réponse aux surcharges organiques d'un réacteur de méthanisation, en vue d'un pilotage efficace de ce réacteur et d'une production flexible de biogaz. La majorité des réacteurs en exploitation fonctionnent à charge organique constante pour assurer la stabilité du procédé biologique et le sujet des surcharges organiques ponctuelles reste donc peu étudié à ce jour. Avec l'application de surcharges de compositions et d'amplitudes différentes, la dynamique du réacteur peut être étudiée via les réponses en production de biogaz. Ainsi, il est a priori possible de définir une limite de fonctionnement instantanée du réacteur, et de comprendre la cause et les évolutions possibles de cette limite.

MATERIEL & METHODES

Un réacteur de 15 L (dont 10 L utiles) a été inoculé avec des boues granulaires issues du traitement d'effluents industriels et alimenté avec un mélange de gazon et de carotte broyés. Ces substrats ont été choisis pour leur vitesse de dégradation rapide. Le réacteur a subi une montée en charge progressive puis il a été stabilisé à une charge volumique appliquée de 1,5 gMV/L.j

(charge appliquée de référence). Il a été alimenté une fois par jour, cinq fois par semaine du lundi au vendredi. Ce réacteur a fonctionné pendant un an et demi.

Les manipulations ont consisté à appliquer au réacteur des surcharges ponctuelles allant jusqu'à 4 fois sa charge de référence journalière, et de comparer ces surcharges avec des périodes où la charge de référence a été appliquée. Les résultats sont analysés sur une semaine et, pour la comparaison d'une semaine sans surcharge et d'une semaine avec surcharge, la semaine de référence la plus proche possible dans le temps de la surcharge est utilisée, pour neutraliser tout effet de la variation de la production endogène. Les surcharges ponctuelles ont été effectuées lors d'une alimentation en fin de semaine (jeudi ou vendredi). La différence de production de méthane est étudiée sur une semaine et est comparée à la valeur du BMP (mesurée par infrarouge) de chaque intrant. Cette différence de production de méthane est ensuite découpée en périodes de 24 heures et la production globale journalière de méthane est analysée. Ces mesures permettent de définir comment la surcharge se répartit en termes d'intensité maximale et de persistance temporelle.

La quantité de biogaz produit est suivie en continu (toutes les 2 minutes) via un compteur Ritter (Milligascounter MGC-1 V3.1) et une interface d'acquisition (ODIN). La qualité du biogaz produit (taux de méthane, de dioxyde de carbone, de sulfure d'hydrogène) est analysée chaque jour au moins, et 3 fois par jour dans le cas du premier jour d'une surcharge, lorsque les volumes produits sont plus importants. L'état interne du digesteur est également contrôlé, pour comprendre les éventuelles inhibitions et retards de production. Les paramètres suivis sont la concentration en acides gras volatils (AGV), en demande chimique en oxygène (DCO) soluble, le pH et la teneur en azote ammoniacal.

RESULTATS & DISCUSSION

Les résultats présentés correspondent à des surcharges effectuées avec un substrat rapidement biodégradable (carotte) ayant un potentiel méthane relativement élevé, pour bien différencier la surproduction et observer une réponse relativement rapide. Les résultats présentés portent sur des surcharges effectuées sur un réacteur fonctionnant à une charge appliquée de base de 1,5 gMV/L.j. Des surcharges comprises entre + 1,5 gMV/L.j et +4,5 gMV/L.j ont été appliquées ponctuellement sur un jour, ce qui correspond à des charges totales appliquées au réacteur (charge de base et surcharge) comprises entre 3 gMV/L.j et 6 gMV/L.j.

Les graphes de la figure 1 présentent l'évolution du cumul de production de méthane au cours d'une semaine suite à une alimentation du réacteur. Pour visualiser l'impact de la surcharge appliquée, la production de méthane du témoin le plus proche dans le temps a été superposée à la production avec surcharge. Les courbes de production de méthane sur une semaine montrent tout d'abord que le réacteur supporte bien les surcharges appliquées ponctuellement, et que leur influence se fait sentir jusqu'à 144h plus tard pour la surcharge la plus importante (+ 4,5 gMV/L.j, figure 1-b). Aucune influence sur la production n'est observée au-delà de 144h avec ces amplitudes de surcharge et, lors de surcharges plus légères (+1,5 gMV/L.j), l'effet ne dure que 48h (figure 1-a). De plus, les deux premières surcharges à +1,5 gMV/L.j, appliquées à quatre semaines d'intervalle et avec le même lot d'intrant, montrent que les réponses sont reproductibles (figure 1-a).

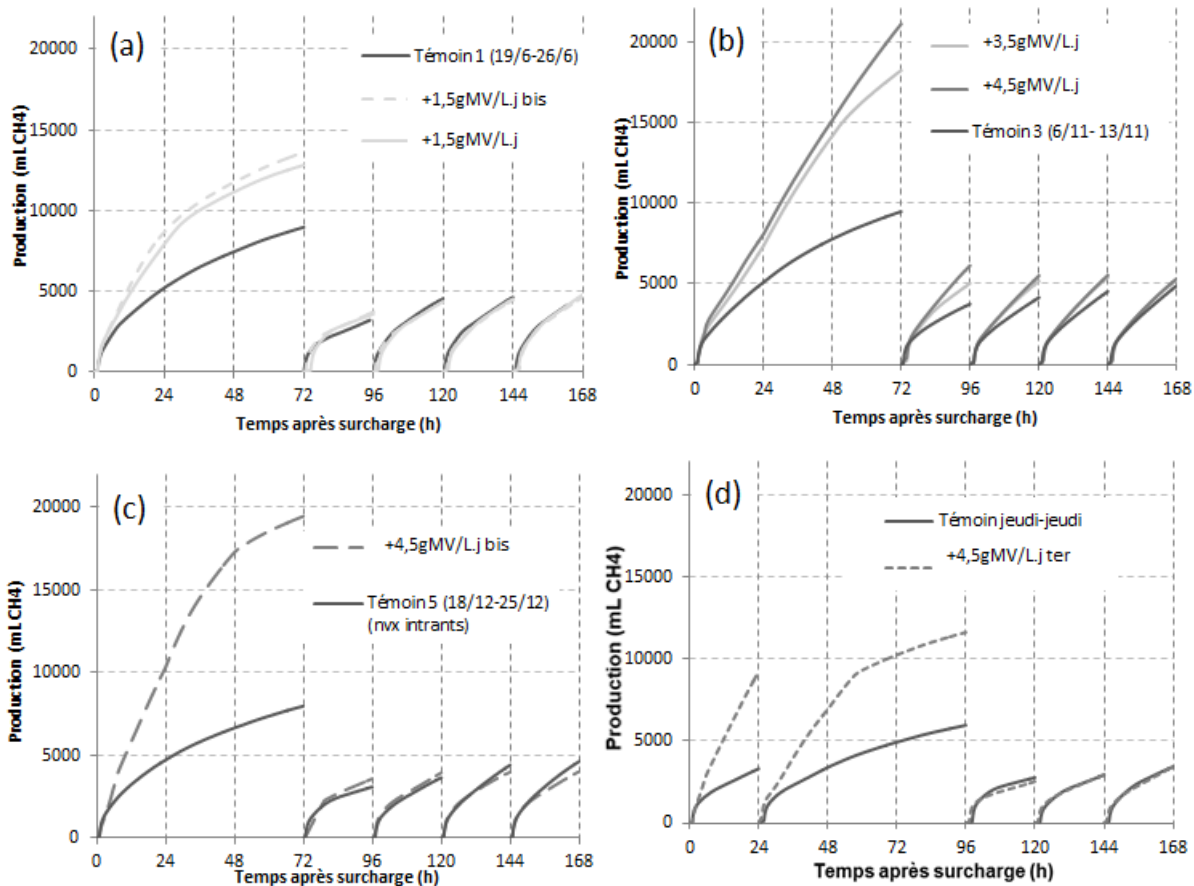


Figure 1 : Comparaisons entre les cumuls de production de méthane en mL pour une semaine avec surcharge et leur semaine de référence : (a) Surcharges à 1,5 gMV/L.j, (b) +3,5 et +4,5 gMV/L.j, (c et d) +4,5gMV/L.j

Pour les deux surcharges de +3,5 gMV/L.j et +4,5 gMV/L.j (figure 1-b), la production de méthane pendant les 48 premières heures est très proche. En revanche, la production de méthane à des cinétiques importantes dure plus longtemps pour la charge la plus élevée, il faut attendre 70 heures pour atteindre 80% de la production supplémentaire attendue avec la première surcharge, tandis qu'avec la seconde 84 heures sont nécessaires. Deux essais ont été reconduits à +4,5 gMV/L.j à 3 mois d'intervalle (figures 1-c et d) mais avec un lot de substrat différent dont le BMP a sensiblement varié (BMP de 270 mLCH₄/gMV pour ce lot contre 330 mLCH₄/gMV pour le premier lot). Le dernier essai a été effectué un jour plus tôt dans la semaine (jeudi, et non vendredi), pour analyser l'influence de la production de base sur la répartition de la surcharge, d'où le cumul de gaz remis à zéro après l'alimentation du réacteur 24h après la surcharge. Cependant, les productions globales de méthane sont comparables, ainsi que la durée d'influence de la surcharge sur la production.

Les graphes de la figure 2 permettent de visualiser la répartition des effets de la surcharge par 24h pour les surcharges à +3,5 gMV/L.j (figure 2-a) et +4,5 gMV/L.j (figures 2-b, c et d). La production de méthane a été normée par rapport au volume utile du réacteur et est exprimée en ml CH₄/L réacteur. Les figures 2-a à 2-d montrent que la production maximale globale (base + surcharge) se fait toujours dans les premières 24h suivant la surcharge. Ce résultat révèle l'existence d'un plafond de production en 24h pour ce réacteur, qui se situe dans la gamme 0,8-1 L CH₄/L réacteur.

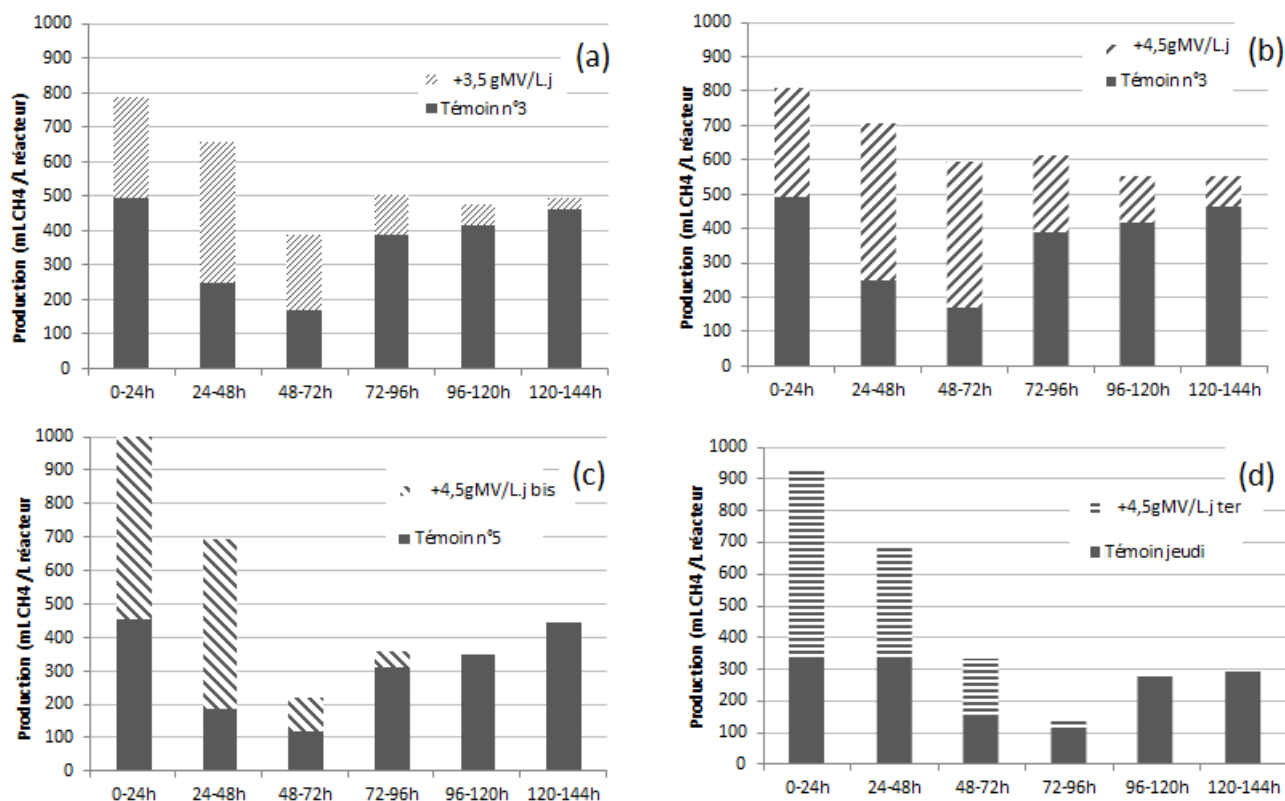


Figure 2 : Comparaison de production de CH₄ par litre de réacteur par 24h (a) Surchage à + 3,5 et (b, c, d) +4,5 gMV/L.j

Dans la littérature, des productions du même ordre de grandeur ont été trouvées pour des réacteurs CSTR alimentés à des charges appliquées semblables avec des résidus de fruits et légumes, qui ont produit entre 1 et 1,25 LCH₄/L réacteur par jour au maximum [4], [5]. En termes de DCO éliminée, la production de méthane du premier jour correspond à l'élimination de, respectivement : 2,24, 2,30, 2,88 et 2,63 gDCO/L pour les quatre surcharges. Ces valeurs sont proches et correspondent au maximum de charge éliminable en 24h par ce réacteur. L'intérêt de définir la charge maximale éliminée réside dans la possibilité de contrôler la charge appliquée journalière maximale pour un pilotage flexible et sans danger de défaillance pour le procédé. En effet, la marge d'augmentation de la production de méthane journalière se situe entre le plafond défini et la production de base du réacteur.

De plus, les figures 2-a à d révèlent que la réponse en termes de répartition de la production supplémentaire de biogaz peut varier en fonction de la capacité maximale de dégradation du réacteur et du niveau de la production de biogaz dû à la charge de référence. Dans le cas des deux premières surcharges (figure 2-a et b), la production supplémentaire (en rayé sur la figure) due à la surcharge est plus importante le second jour que le premier (le second jour, un samedi, n'étant pas alimenté pour les trois premiers essais, la production témoin de ce jour est plus faible). En revanche, pour les surcharges des figures 2-c et d, la production de biogaz due à la surcharge (en rayé) est plus importante le premier jour: la production de base est plus faible que pour les 2 cas précédents, tandis que la capacité maximale du réacteur mesurée le premier jour est semblable.

Sans inhiber le réacteur, il serait intéressant d'effectuer une surcharge suffisante pour atteindre le plafond sur deux jours consécutifs. Des modifications du modèle ADM1 sont en cours pour pouvoir modéliser ce réacteur et mieux comprendre les cinétiques internes. Ce travail permettra à terme d'élaborer un indicateur « de santé » de réacteur, pour permettre un pilotage efficace dans la conduite flexible de réacteurs.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] H. Hahn, B. Krautkremer, K. Hartmann, and M. Wachendorf, "Review of concepts for a demand-driven biogas supply for flexible power generation," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 29, pp. 383–393, Jan. 2014.
- [2] I. Sundh, H. Carlsson, Å. Nordberg, M. Hansson, and B. Mathisen, "Effects of glucose overloading on microbial community structure and biogas production in a laboratory-scale anaerobic digester," *Bioresour. Technol.*, vol. 89, no. 3, pp. 237–243, Sep. 2003.
- [3] J. De Vrieze, W. Verstraete, and N. Boon, "Repeated pulse feeding induces functional stability in anaerobic digestion: Managing stability in anaerobic digestion," *Microb. Biotechnol.*, vol. 6, no. 4, pp. 414–424, Jul. 2013.
- [4] B. Arhoun, A. Bakkali, R. El Mail, J. M. Rodriguez-Maroto, and F. Garcia-Herruzo, "Biogas production from pear residues using sludge from a wastewater treatment plant digester. Influence of the feed delivery procedure," *Bioresour. Technol.*, vol. 127, pp. 242–247, Jan. 2013.
- [5] R. Ganesh, M. Torrijos, P. Sousbie, J. P. Steyer, A. Lugaardon, and J. P. Delgenes, "Anaerobic co-digestion of solid waste: Effect of increasing organic loading rates and characterization of the solubilised organic matter," *Bioresour. Technol.*, vol. 130, pp. 559–569, Feb. 2013.