

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles
<b>Herausgeber:</b>	Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles
<b>Band:</b>	107 (1984)
<b>Artikel:</b>	Digestion méchanique d'un substrat complexe au moyen d'un réacteur "tunnel" à chicanes
<b>Autor:</b>	Glauser, Michel / Wieland, Fabienne / Aragno, Michel
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-89214">https://doi.org/10.5169/seals-89214</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 14.12.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# DIGESTION MÉTHANIQUE D'UN SUBSTRAT COMPLEXE AU MOYEN D'UN RÉACTEUR «TUNNEL» À CHICANES

par

MICHEL GLAUSER, FABIENNE WIELAND ET MICHEL ARAGNO

AVEC 4 FIGURES

---

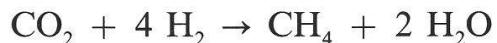
## INTRODUCTION

Lorsque, à un pH voisin de la neutralité, de la matière organique est placée dans un milieu dépourvu d'oxygène, elle va subir une dégradation provoquée par une association de bactéries fonctionnant de manière étroitement coordonnée. Après avoir éliminé, par réduction, les anions oxydants ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), les microorganismes vont «simplifier» par étapes les molécules pour produire finalement un mélange de méthane ( $\text{CH}_4$ ) et de gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ): le «biogaz». Dans le processus de cette dégradation, on peut reconnaître trois étapes (BRYANT 1979), effectuées chacune par un groupe caractéristique de bactéries (fig. 1). Lors de la première étape, les biopolymères sont hydrolysés puis fermentés par les bactéries de la *liquéfaction acidogène*: les sous-produits sont, d'une part du gaz carbonique, de l'hydrogène et de l'acide acétique, et d'autre part des acides organiques volatils à plus longue chaîne (3 à 6 atomes de carbone). La proportion des premiers est d'autant plus élevée que la teneur en hydrogène moléculaire est maintenue très basse (MIN CHEN et WOLIN 1977).

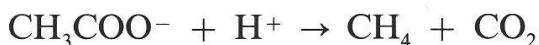
Les bactéries *méthanogènes* ne peuvent métaboliser qu'un nombre limité de substrats ( $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , acides formique et acétique); ce sont alors des bactéries *acétogènes*, réductrices obligées de protons, qui convertissent les autres acides en acide acétique,  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2$  (Mc INERNEY et al. 1978). La réduction des protons n'est thermodynamiquement possible que si la concentration d'hydrogène est maintenue très basse ( $10^{-3}$  atm, ZEIKUS 1980); ces bactéries doivent donc vivre en association (syntrophie) obligatoire avec des consommateurs d' $\text{H}_2$  (BRYANT et al. 1972). Ces derniers peuvent appartenir à deux groupes de bactéries: les sulfatoréductrices, qui réduisent le sulfate au cours d'un processus respiratoire anaérobie selon l'équation générale:



et la plupart des méthanogènes, qui réalisent une réduction du CO<sub>2</sub> (méthanogénèse autotrophe) selon l'équation globale :



La plus grande partie (environ 70%) du méthane produit lors de la digestion anaérobiose provient néanmoins de la scission, par certaines bactéries méthanogènes, de la molécule d'acide acétique (ZEHNDER 1978), selon la réaction :



90% du pouvoir réducteur des molécules de départ se retrouve sous forme de méthane, tandis que 10% environ est converti en biomasse (MC INERNEY, BRYANT et STAFFORD 1980).

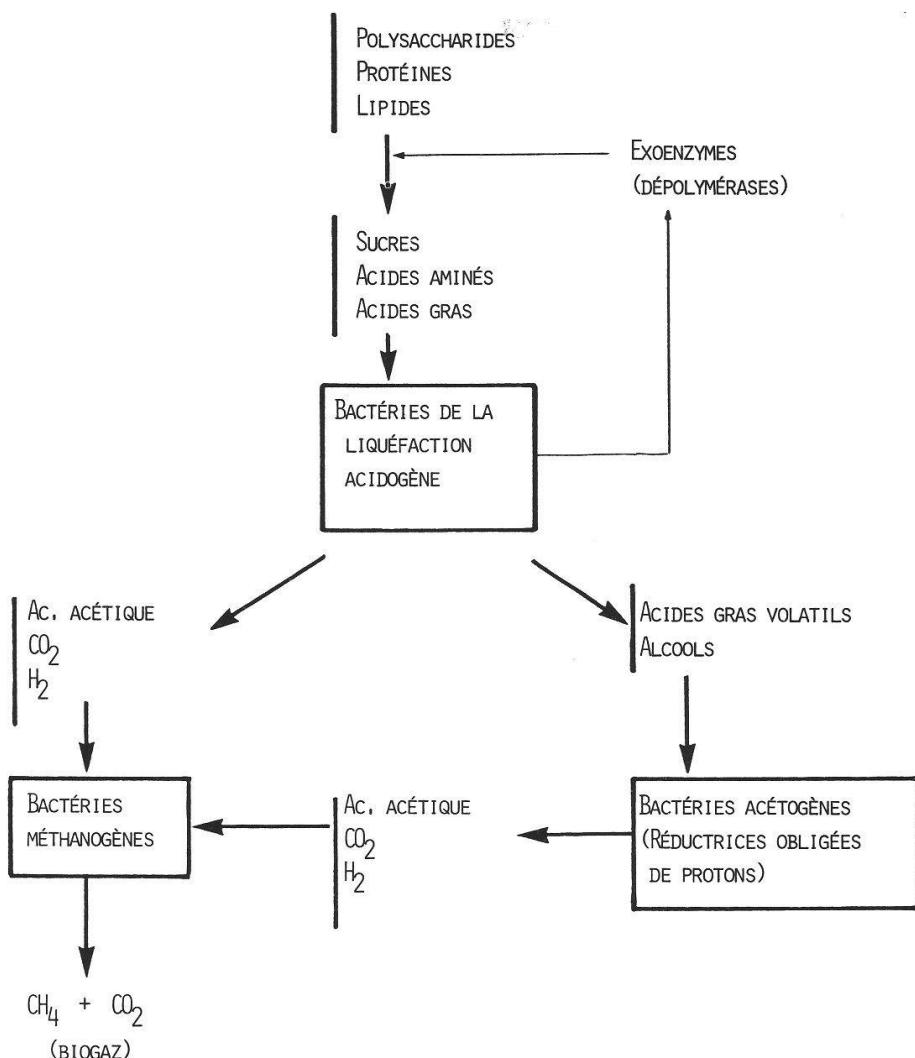


Fig. 1. Schéma de la dégradation anaérobiose de matière organique par trois groupes distincts de bactéries : acidogènes, acétogènes et méthanogènes.

Dans un digesteur anaérobiose fonctionnant en mode semi-continu (biogaz agricole ou de station d'épuration) et dans les milieux naturels (par exemple dans les sédiments d'eaux douces eutrophes), ces différents

groupes sont intimement mélangés dans le temps et dans l'espace. En revanche, un digesteur en «tunnel» («plug flow»: STAFFORD et al. 1980) mime quelque peu le fonctionnement d'un tube digestif: il se charge à une extrémité et le résidu est chassé à l'autre. Un tel système doit permettre dans une certaine mesure de séparer spatialement les phases successives de la digestion. Le présent travail rend compte des premiers essais effectués au moyen d'un digesteur de laboratoire à chicanes basé sur ce principe.

#### MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le digesteur (fig. 2) est constitué d'une boîte de PVC transparent (paroi: 5 mm) de dimensions  $46 \times 12 \times 16$  cm (volume utile: 5 litres); des parois transversales déterminent 7 compartiments qui communiquent dans leur partie inférieure par des orifices alternés de 9 cm de haut sur 3 de large, provoquant ainsi un parcours sinueux des boues en digestion. Au-dessus de chacun des cinq compartiments centraux, le couvercle étanche est muni d'un orifice de sortie du gaz (Sg) et d'un tube d'échantillonnage dont la partie inférieure est immergée dans les boues (Oe).

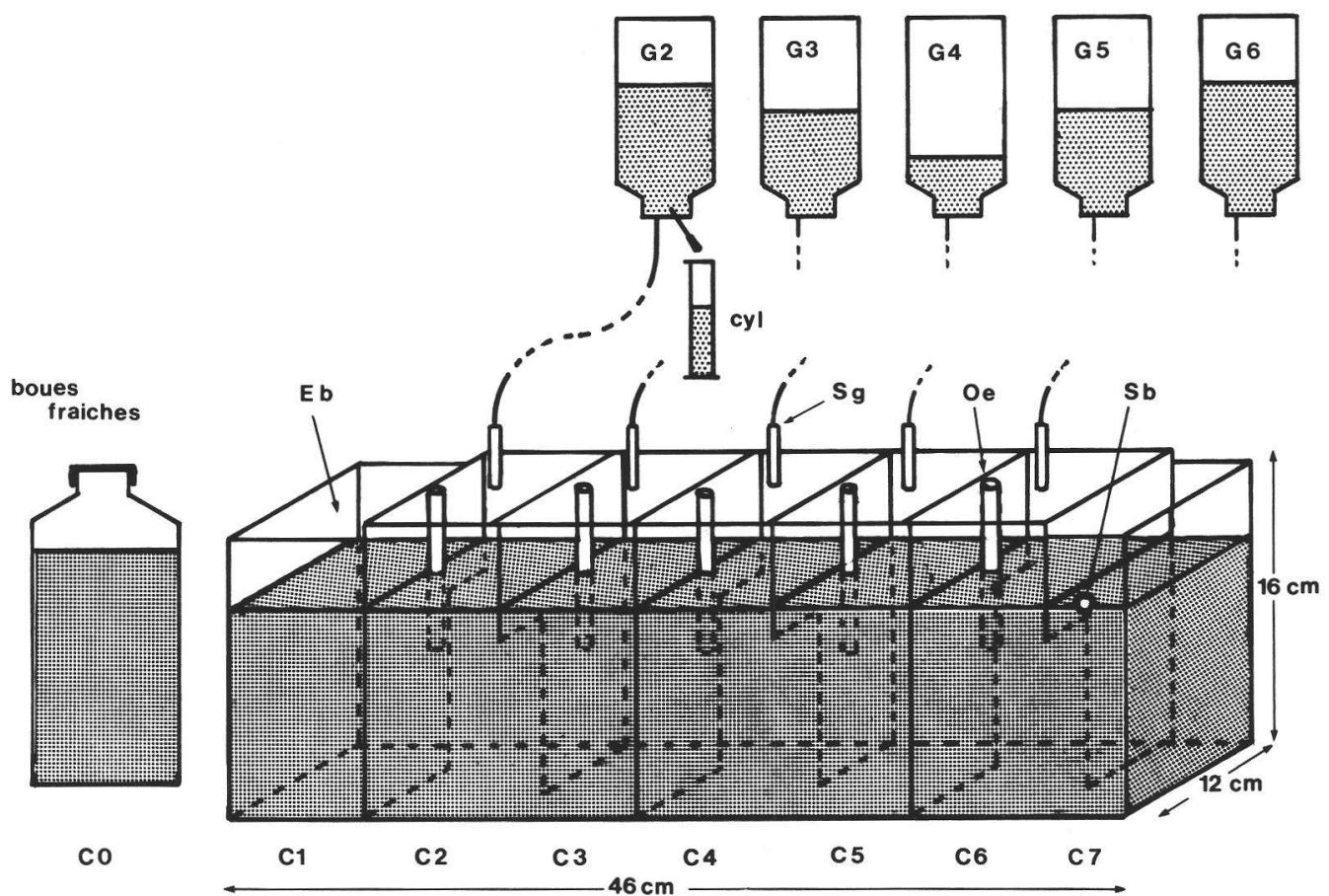


Fig. 2. Digesteur «tunnel»  
C0-C7: compartiments 0 à 7  
cyl: cylindre gradué  
Eb: entrée des boues fraîches

G2-G6: gazomètres des compartiments 2 à 6  
Oe: orifice d'échantillonnage  
Sb: sortie des boues digérées  
Sg: sortie du gaz.

Le substrat frais est introduit dans le premier compartiment (Eb) et repousse les boues en digestion vers les compartiments suivants : un volume équivalent au volume introduit s'échappe alors du septième compartiment par l'orifice de sortie (Sb).

Le gaz libéré dans chaque compartiment est recueilli dans un flacon à perfusion inversé (G2-G6) qui contient de l'eau saturée par un mélange à 50% de CH<sub>4</sub> et 50% de CO<sub>2</sub>; le volume de l'eau chassée par le gaz est mesuré dans un cylindre gradué (cyl.). Pour l'analyse de la composition du gaz, le flacon est retourné ; le prélèvement s'opère à travers le septum au moyen d'une seringue et d'une aiguille.

*Substrat* : pour ces essais, nous avons choisi des boues secondaires de la station d'épuration de Colombier, dont la teneur en matière sèche était de 5% (dont 60% de matière organique).

*Analyses* : le pH et le potentiel d'oxydoréduction sont mesurés au moyen d'électrodes (resp. électrode de verre combinée Ingold type 10 405 3897 et électrode de platine combinée Ingold type 10 505 3148) introduites dans les boues par le tube d'échantillonnage. Pour l'analyse des acides gras volatils, des échantillons de boue sont acidifiés (1 ml HC1 5N pour 15 ml de boue), centrifugés (48000 g pendant 30 min) puis filtrés sur papier. Après adjonction au filtrat de l'étalon interne (100 µl de dioxane dans 1 ml), l'échantillon est injecté dans un chromatographe à phase gazeuse (Carlo Erba 4130), muni d'un détecteur à ionisation de flamme. Les conditions de l'analyse sont les suivantes :

colonne capillaire:	FFAP
volume échantillon:	1 µl
temp. colonne:	120° C
temp. injecteur:	180° C
temp. détecteur:	180° C
rappart de split:	15/1
gaz vecteur:	He, 40 ml/min

La composition des gaz est établie au moyen d'un chromatographe Gow Mac 552 muni d'un détecteur à conductibilité thermique, dans les conditions suivantes :

colonne:	Carbosiev B
volume échantillon:	0,5 ml
temp. colonne:	100° C
temp. injecteur:	80° C
temp. détecteur:	100° C
gaz vecteur:	25 ml/min

Pour ces deux types d'analyses, l'enregistrement et les calculs sont faits au moyen d'un intégrateur Hewlett-Packard.

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le digesteur est immergé dans un bain thermorégulé à 35° C. Le démarrage de la digestion se fait par l'introduction simultanée de 2,5 litres de boues fraîches à l'entrée et 2,5 litres de boues digérées en anaérobiose à la sortie, permettant ainsi l'établissement d'un « gradient de digestion » le long du tunnel.

Par la suite, la digestion est maintenue en mode semi-continu et le volume de la charge journalière déterminé de façon à obtenir une production maximale de gaz dans le compartiment central (C4). En augmentant régulièrement ce volume de 0,1 l/j à 0,5 l/j sur une période de 10 jours, la

production maximale de gaz, qui, au début, se manifestait dans le second compartiment, a été repoussée jusqu'au 4<sup>e</sup>, où elle s'est maintenue durant 5 jours ; une situation d'équilibre était ainsi atteinte. Les résultats présentés (fig. 3 et 4) décrivent cet état 24 heures après la dernière charge. Les mesures du potentiel d'oxydoréduction n'ont qu'une valeur relative, l'immersion des électrodes dans un milieu aussi complexe que les boues d'épuration ayant faussé leur étalonnage.

### ACIDES GRAS VOLATILS

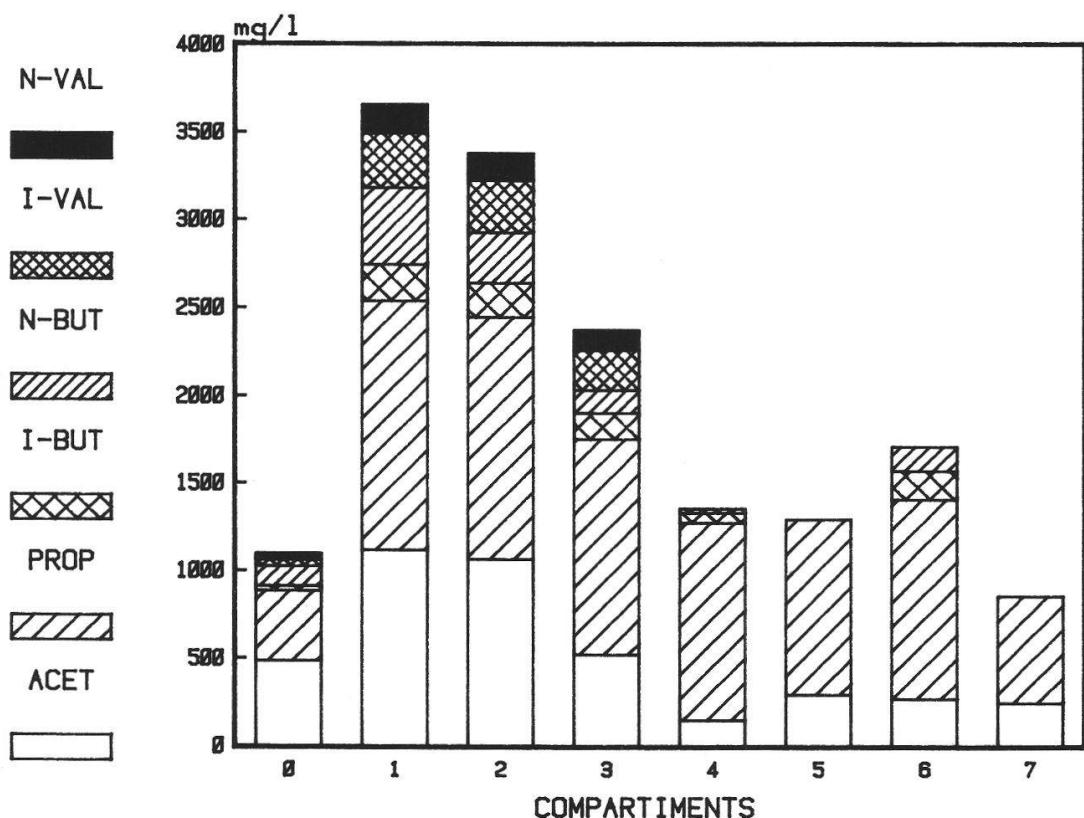


Fig. 3. Distribution des acides volatils organiques dans les 7 compartiments du digesteur

ACET: acide acétique  
PROP: acide propionique  
I-BUT: acide iso-butyrique

N-BUT: acide n-butyrique  
I-VAL: acide iso-valérique  
N-VAL: acide n-valérique.

Entre l'analyse des boues avant leur introduction et après 24 h de stage dans le premier compartiment, on constate une forte production d'acides gras volatils (fig. 3), ainsi qu'un sensible abaissement du pH (fig. 4). Entre les compartiments 2 et 4, on note une élévation du pH, de la production de gaz et de sa teneur en méthane, conjointement à une baisse importante de la teneur en acides gras volatils et du potentiel d'oxydoréduction. Dans les compartiments suivants, le pH se stabilise, tandis que la production du gaz baisse sensiblement. Parmi les acides gras volatils, on constate que l'acide propionique est dégradé beaucoup plus tardivement que les autres, une baisse importante de sa concentration n'intervenant que dans le dernier compartiment.

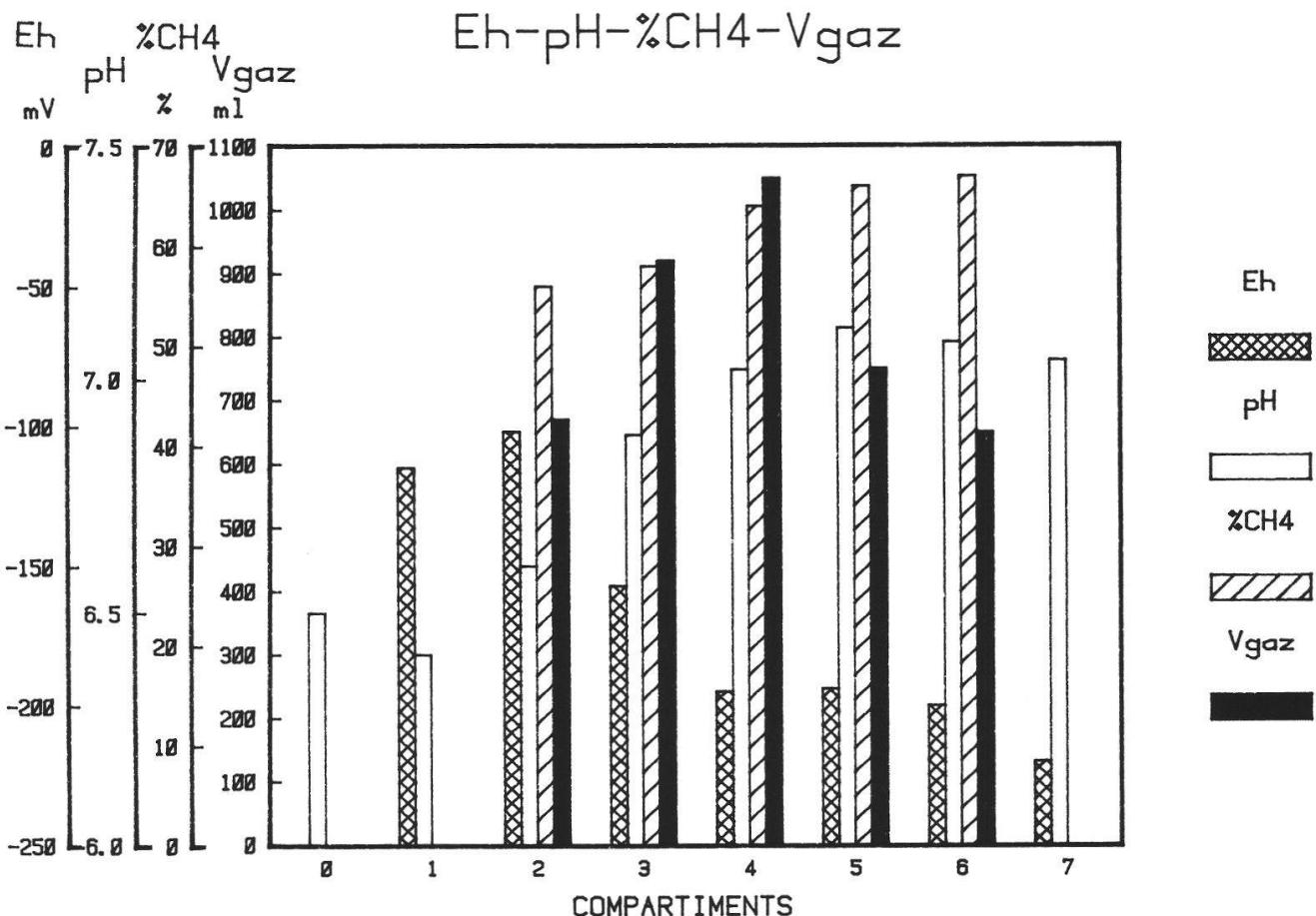


Fig. 4. Evolution, dans les 7 compartiments du digesteur, du potentiel d'oxydoréduction, du pH, de la production et de la composition du gaz.

L'activité des bactéries responsables de l'acidogénèse est donc maximale dans le premier compartiment. Dès le second, s'installe une bonne activité acétogène et méthanogène (abaissement de la teneur en acides volatils et production importante de biogaz). Cette activité est optimale dans le quatrième compartiment, conjointement à l'obtention d'un pH neutre et d'un bas potentiel rédox, conditions particulièrement favorables aux bactéries méthanogènes, profondément anaérobies. L'élimination des substrats le plus facilement métabolisables entraîne dès le cinquième compartiment une baisse de la production de gaz, tandis que la proportion du méthane continue d'augmenter. La permanence de l'acide acétique jusque dans les derniers compartiments s'explique par le fait qu'il est un intermédiaire de la transformation des autres acides gras à plus longue chaîne, dont certains (comme l'acide propionique) sont dégradés relativement lentement.

En conclusion, ce type de digesteur permet d'observer une distribution spatiale des phénomènes biologiques caractérisant le processus de la digestion anaérobie des déchets organiques complexes. Les premiers résul-

tats sont encourageants. Ils permettent d'imaginer des modifications (allongement du tunnel, multiplication des compartiments) en vue de l'obtention d'une meilleure séparation des différentes phases. En particulier, il devrait être possible de limiter, voire de supprimer toute activité méthano-gène dans la première partie du réacteur.

---

### Remerciements

Les auteurs remercient M<sup>me</sup> Pascale Gogniat de sa précieuse collaboration. Ce travail entre dans le cadre du projet 3.262-0.82 du Fonds national suisse de la recherche scientifique. L'une de nous (F. W.) a collaboré à cette recherche dans le cadre d'un travail de baccalauréat du Gymnase cantonal de la Chaux-de-Fonds.

---

### Résumé

Un digesteur anaérobie de laboratoire, muni de chicanes et fonctionnant sur le principe du «tunnel», a été réalisé. Un essai en semi-continu avec des boues d'épuration a montré qu'un tel système permet, dans une certaine mesure, d'obtenir une distribution dans l'espace des phénomènes intervenant dans le processus de digestion des substrats organiques complexes et de leur conversion en biogaz.

### Summary

An anaerobic, laboratory-scale «plug flow» digestor with staggered inner walls was designed. It was run semicontinuously with sewage sludge as substrate. The results showed that such a system allowed to a certain extent to reach a spatial distribution of phenomena associated with the degradation of complex organic substrates and their conversion to biogas.

---

### BIBLIOGRAPHIE

- BRYANT, M. P., WOLIN, E. A., WOLIN, H. J., WOLFE, R. S. — (1972). *Methanobacillus omelianski*, a symbiotic association of two species of bacteria. *Arch microbiol.* 59:527-531.
- BRYANT, M. P. — (1979). Microbiol. methane production. Theoretical aspect. *J. Animal. Sci.* 48:193-201.
- MC INERNEY, BRYANT, M. P., PFENNIG, N. — (1978). Anaerobic bacterium that oxidizes fatty acids in synthrophic association with H<sub>2</sub>-utilizing bacteria. *A.S.M. 78th annual meeting*, Las Vegas.
- MC INERNEY, M. J., BRYANT, M. P., STAFFORD, D. A. — (1980). Metabolic stages and energetics of microbial anaerobic digestion. In: STAFFORD, D. A., WHEATLEY, B. I. and HUGUES, D. E. (ed.), *Anaerobic digestion*. *Applied Sciences Publishers*. pp. 91-98.
- MIN CHEN and WOLIN, H. J. — (1977). Influence of CH<sub>4</sub> production by *Methanobacterium ruminantium* on the fermentation of glucose and lactate by *Selenomonas ruminantium*. *Appl. Environ. Microbiol.* 34:756-759.

- STAFFORD, D. A., HAWKES, D. L., HORTON, R. — (1980). Methane production from waste organic matter. *C.R.C. Press*. Boca Raton, Floride.
- ZEHNDER, A. J. B. — (1978). Ecology of methane formation. In: R. MITCHELL (ed.) Water Pollution Microbiology. Vol. 2, pp. 349-376, *New York* (John Wiley & Sons).
- ZEIKUS, J. G. — (1980). Microbiol. populations in digesters. In STAFFORD, D.A., WHEATLEY, B. I. and HUGUES, D. E. (ed.), Anaerobic digestion. *Applied Sciences Publishers*, pp. 61-87.
- 

Adresse des auteurs: Laboratoire de microbiologie, Institut de botanique de l'Université, 22, chemin de Chantemerle, CH-2000 Neuchâtel 7.