

Réacteurs biologiques à membranes Dorr-Oliver

Application à la digestion anaérobie du lactosérum

par

D. GAILLAND

Résumé

Au début des années 70, Dorr-Oliver a mis au point et breveté un réacteur avec séparation de la biomasse par membranes d'ultrafiltration. Les premières applications du procédé ont concerné l'épuration biologique d'eaux usées domestiques avec réutilisation de l'effluent. Récemment, le procédé a été appliqué au traitement anaérobie d'effluents industriels fortement concentrés ($DCO > 15$ g/l). Cette communication a pour objectif de présenter le système MARS® (Réacteur Anaérobie à Séparation par Membranes), et le système d'ultrafiltration IOPOR correspondant et d'exposer les résultats d'essais effectués sur du lactosérum et du perméat de lactosérum. Ceux-ci montrent que le système est capable d'une épuration supérieure à 95 % sur la DBO_5 à des charges volumiques d'environ 16 kg $DCO/m^3/j$. La production de méthane se situe à environ $0,30$ m^3 CH_4 par kg de DCO éliminée. Les autres résultats appréciables sont une production minimum de boues, un contrôle strict de la concentration en biomasse dans le réacteur, l'élimination des matières en suspension, un démarrage rapide du réacteur.

INTRODUCTION

Lors de la production de fromage, environ 90 % du lait utilisé se retrouve sous forme de lactosérum.

La composition de ce sérum (voir tab. 1) en fait un polluant sérieux si rejeté tel quel dans le milieu naturel. Des efforts importants ont permis sa valorisation dans de nombreux cas, par séchage ou par extraction de ses différents constituants. On note aussi des valorisations particulières : production de levures, d'éthanol, d'hydrolyse enzymatique. Il existe également une valorisation de longue date du sérum : l'alimentation animale. Cependant les coûts de transport et les problèmes de traitement des lisiers de porcherie font que dans certaines situations le lactosérum est une charge importante pour le producteur qui doit en disposer au mieux.

L'avantage d'une digestion anaérobie sur les traitements aérobies classiques réside dans ses faibles coûts d'épuration et dans la libération d'un sous-produit valorisable in-situ : le gaz méthane. Pour fixer un ordre de grandeur, on peut estimer que la digestion d'un mètre cube de sérum produit environ 17 m³ de gaz méthane, soit environ 170 kwh.

L'objet de cette communication est de présenter un procédé permettant de réaliser cette digestion d'une façon économique et fiable : le procédé MARS® de Dorr-Oliver.

TABLEAU 1 : Composition typique d'un lactosérum

Constituant	% en poids
Lactose	4,9
Protéines	0,9
Cendres	0,6
Matières grasses	0,1
Humidité	93,5
Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	40 g/l
Demande chimique en oxygène (DCO)	60 g/l

DIGESTION ANAEROBIE

La digestion anaérobie est la dégradation, par des micro-organismes, de la matière organique complexe en composés gazeux

simples : le méthane et le gaz carbonique. Pour simplifier le processus, on peut distinguer deux étapes :

— une étape d'hydrolyse et d'acétogénèse transformant les protéides, glucides et lipides du substrat en un mélange d'acides gras volatils, de gaz carbonique et d'hydrogène ;

— une étape de méthanogénèse conduisant à la production de méthane et de gaz carbonique.

D'un point de vue technologique, on peut séparer ces deux étapes ou les réaliser conjointement dans le même réacteur. Pour plus de détails sur les aspects fondamentaux ou technologiques, se reporter aux références citées (Gaillard et Sutton, 1983 ; Morfaux et Albagnac, 1981).

Une donnée bien connue de la microbiologie de la digestion anaérobie est le faible taux de croissance des bactéries méthanogènes. Si cette particularité est intéressante par la faible production de boues qui résulte du traitement anaérobie, elle impose cependant un contrôle strict des conditions physico-chimiques favorables au développement de ces bactéries.

La digestion anaérobie est une technique maîtrisée de longue date par Dorr-Oliver, puisque c'est en 1926, à Antigo, dans le Wisconsin, que la Société Dorr a installé le premier digesteur municipal incorporant des techniques devenues classiques depuis lors.

Dimensionnement d'un réacteur anaérobie

La dégradation de la matière organique s'accompagnant de production de biomasse, on utilise une équation du type :

$$\mu = Yk - b \quad (1)$$

où :

μ = vitesse de croissance des micro-organismes, $\frac{\text{masse}}{\text{masse-temps}}$

Y = coefficient de production des micro-organismes, $\frac{\text{masse}}{\text{masse}}$

k = coefficient d'utilisation du substrat, $\frac{\text{masse}}{\text{masse-temps}}$ et

b = coefficient de mortalité des micro-organismes, $\frac{I}{\text{temps}}$

L'inverse de la vitesse de croissance $\frac{1}{\mu}$ correspond à l'âge des

boues aussi dénommé temps de rétention des solides, qui peut se définir par la formule suivante :

$$\text{TRS} = \frac{\text{solides volatils en suspension (VSS) dans le réacteur}}{\text{solides volatils en suspension dans l'effluent ou purgés avec les boues/jour}} \quad (2)$$

Un autre paramètre majeur du dimensionnement est la charge volumique, généralement exprimée en kg de DCO appliquée par m³ de réacteur et par jour.

L'âge des boues et la charge volumique sont reliés par l'équation suivante :

$$\frac{1}{\text{TRS}} = \frac{Y}{X} (E) (Cv) - b = Yk - b \quad (3)$$

où :

$$X = \text{concentration en micro-organismes} \frac{\text{masse}}{\text{volume}}$$

$$E = \text{fraction du substrat éliminée}$$

$$Cv = \text{charge volumique} \frac{\text{masse}}{\text{volume-temps}}$$

Enfin on relie la charge volumique au temps de séjour dans le réacteur par l'équation :

$$Cv = \frac{Q So}{V} = \frac{So}{\quad} \quad (4)$$

avec :

$$Q = \text{débit de sérum à traiter} \frac{\text{volume}}{\text{temps}}$$

$$So = \text{concentration en substrat du sérum} \frac{\text{masse}}{\text{volume}}$$

$$V = \text{volume du réacteur}$$

= temps de rétention hydraulique du sérum dans le réacteur.

Nous reviendrons plus loin sur les conséquences de ces relations au niveau des performances d'un réacteur.

REACTEURS A MEMBRANES

C'est à la fin des années 60 que Dorr-Oliver a mis au point et breveté le réacteur biologique à membranes. Cette innovation était

la conséquence d'une longue tradition de recherche et développement dans le domaine du traitement des eaux et de la mise au point récente d'un système d'ultrafiltration original : le système IOPOR de Dorr-Oliver.

Les premières applications des réacteurs biologiques à membranes Dorr-Oliver ont concerné l'épuration biologique des eaux usées domestiques par le procédé à boues activées. Dans ce système, les bactéries sont séparées de l'effluent par ultrafiltration et recyclées vers le bassin d'aération. Ce procédé permet d'obtenir un perméat d'excellente qualité physico-chimique et bactériologique qui est recyclé pour différents usages. Ce système se limite évidemment aux cas où la rareté de l'eau implique sa réutilisation, mais il présente alors des avantages de simplicité et de compacité par rapport aux chaînes de traitement conventionnelles.

Le système d'ultrafiltration a certes évolué depuis lors, mais le concept fondamental d'un système à cartouches de plaques parallèles est demeuré le même. Ces plaques, recouvertes sur chaque face d'une membrane d'ultrafiltration, sont groupées en cartouches (voir fig. 1).

Ces cartouches sont logées dans les boîtiers en acier inoxydable, dans lesquels le liquide à filtrer circule en balayant tangentiellement la surface des membranes (voir fig. 2). La souplesse et la multiplicité des combinaisons entre modules en série et modules en parallèles permettent d'optimiser au mieux les installations industrielles et facilitent l'extension ou la modification d'un système existant. Chaque

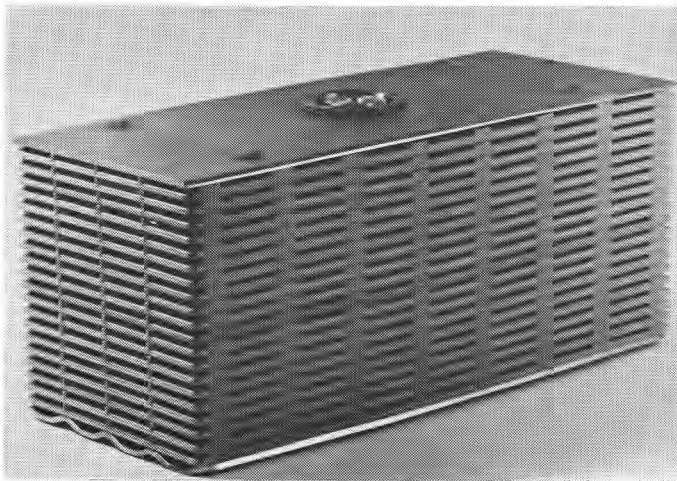


fig. 1

Cartouche d'ultrafiltration IOPLATE®, Dorr-Oliver.

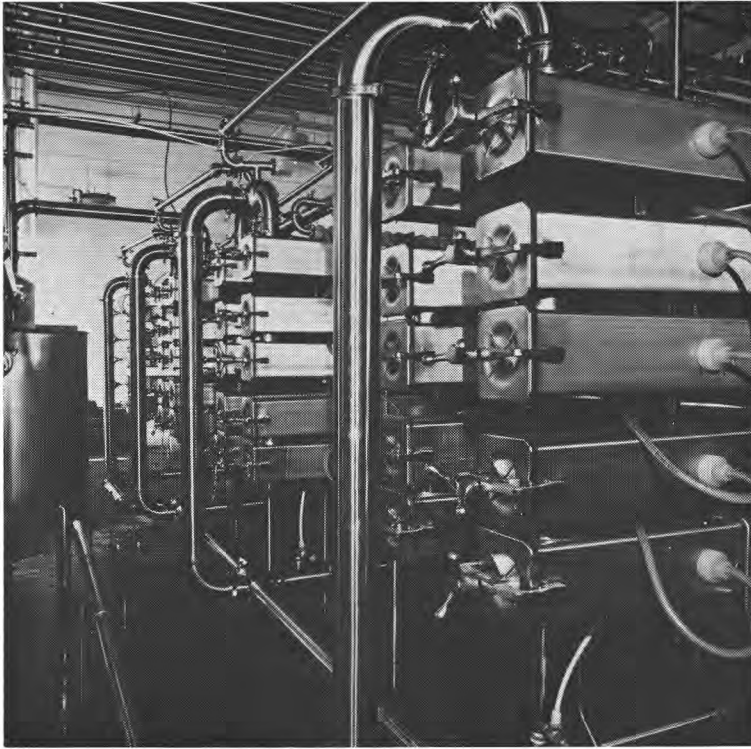


fig. 2

Etages d'ultrafiltration IOPOR.

plaque du système Dorr-Oliver peut être démontée, et réutilisée après inspection. A l'heure actuelle, ces plaques sont disponibles avec une gamme de membranes de types et de seuils de coupure variés s'étalant de 1 000 Daltons à 3 microns.

Mais une originalité particulièrement intéressante pour l'application considérée ici est le compromis épaisseur du passage inter-membranes/consommation d'énergie.

En effet, le système IOPOR offre un passage suffisamment large entre les membranes pour être tolérant vis-à-vis des matières en suspension tout en ayant un passage suffisamment étroit pour offrir des flux satisfaisants avec les consommations énergétiques très faibles, comparables à celles des systèmes à fibres creuses, comprises entre 0,1 et 0,2 kW/m². Une version à passage étroit encore plus économique peut aussi être utilisée pour d'autres applications que celles-ci.

LE PROCEDE MARS®

Le Réacteur Anaérobie à Séparation par Membranes (voir fig. 3) est une nouvelle adaptation de la digestion anaérobie à cultures libres. Dans ce procédé, l'étape de séparation liquide-solide visant à retenir la biomasse dans le réacteur est effectuée par ultrafiltration. L'efficacité de l'ultrafiltration permet de maintenir dans le réacteur des concentrations en micro-organismes aussi importantes que dans les réacteurs à biomasse fixée. Avec le système MARS, la méthanisation s'opère en une seule phase, dans un réacteur à mélange intégral. La régulation des conditions physico-chimiques du milieu n'est que plus efficace.

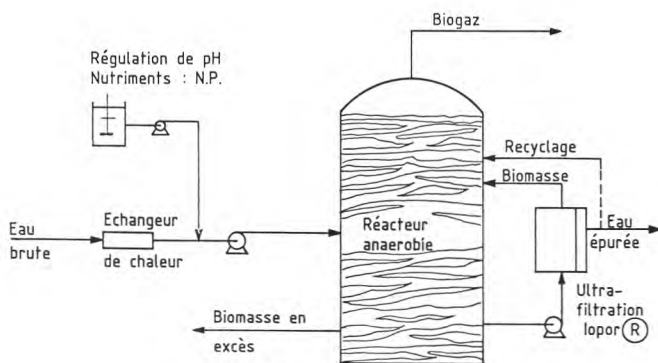


fig. 3

Schéma d'un réacteur anaérobie à séparation par membranes (MARS).

INTERETS DU PROCEDE

Contrôle strict du Temps de Rétention des Solides

Si on se réfère à l'équation (2) on voit que le TRS peut être étroitement maîtrisé puisque la quantité de matières volatiles en suspension sortant du réacteur se résume aux purges intentionnelles. Ce contrôle permet également d'avoir de fortes concentrations en biomasse dans le réacteur (15 000 à 30 000 mg/l de MVS). Du fait de cette rétention, le démarrage d'un digesteur est plus rapide puisque tout le matériau d'ensemencement est confiné à l'intérieur du système. Enfin, les matières organiques en suspension sont également retenues et leur dégradation est ainsi favorisée.

L'efficacité de la filtration permet d'obtenir un effluent exempt de matières en suspension. Elle permet surtout d'éviter le lessivage

TABLEAU 2

Paramètres de fonctionnement et performance d'un pilote MARS sur lactosérum (valeurs moyennes)

Période d'essais	Alimentation : mg/l		Effluent : mg/l			Production de CH ₄ m ³ /kg DCO	TRS jours	Temps de séjour hydrauliques jours
	DCO non filtrée	DBO ₅ non filtrée	DCO non filtrée	DBO ₅ non filtrée	Acides volatils (en acide acétique)			
1	28 717	15 760	1 393	957	639	0,303	25	1.93
2	62 071	31 427	1 565	1 075	938		50	7.38

des bactéries lors des incidents de fermentation et stabilise ainsi la bonne marche du digesteur.

Bonne épuration à charge volumique élevée

Une forte concentration en micro-organismes dans le digesteur permet d'appliquer à celui-ci des charges volumiques importantes. On voit à l'équation (4) que cela signifie des temps de séjour réduits et donc des volumes de digesteurs plus faibles. D'où une diminution de l'investissement, de l'encombrement et des déperditions thermiques.

Faible production de boues

On a constaté que le fait de travailler avec un âge des boues élevé entraîne une production de boues minimum. Celle-ci est généralement inférieure à 0,1 kg de matière sèche par kg de DCO éliminée.

Digestion anaérobie du lactosérum

Des essais de méthanisation ont été conduits sur différents substrats : sérum, perméat de sérum. Les détails des essais ont été publiés par ailleurs (Sutton et coll., 1982), nous ne présenterons ici que leurs résultats (voir tab. 2).

Les conclusions de ces résultats montrent :

— que le système est capable d'éliminer plus de 95 % de la DCO à des charges volumiques d'environ 16 kg DCO/m³/jour ;

— que le système peut fonctionner économiquement dans des conditions qui permettent une production de boues faible de l'ordre de 0,06 kg de matières volatiles en suspension par kg de DCO éliminée ;

— que la production de méthane est voisine de 0,30 m³ par kg de DCO éliminée ;

— que l'efficacité économique du système MARS sera d'autant meilleure que la concentration du substrat sera élevée.

Ces résultats sont en cours de vérification sur un réacteur pilote industriel d'environ 35 m³.

Bibliographie

- GAILLAND (D.), SUTTON (P. M.) (1983). — Nouveaux procédés d'épuration anaérobie des effluents industriels. *Industries Alimentaires et Agricoles*, 11, 885-889.
- MORFAUX (J. N.), ALBAGNAC (G.) (1981). — Aspects fondamentaux de la méthanisation dans les digesteurs. Collection Recherche Environnement, n° 17. Ministère de l'Environnement, édité par Sepic, Paris.
- SUTTON (P. M.), LI (A.), EVANS (R. R.), KORCHIN (S.) (1982). — Dorr-Olliver's fixed film and suspended growth anaerobic systems for industrial wastewater treatment and energy recovery. 37th Annual Purdue Industrial Waste Conference, West Lafayette, Indiana.