

PRODUCING BIOGAS FROM CHEESE WHEY TO CONTRIBUTE TO THE ENERGY INDEPENDENCY OF CHEESE FACTORIES

Y. Membrez, H. Fruteau and J. Dovat
EREP SA, 1123 Aclens, Switzerland ; www.erep.ch

Workshop on Anaerobic Digestion in Mountain Area (and isolated rural zones)
Chambéry, France, 5-7.06.2007

SUMMARY

Switzerland produces 160'000 tons of cheese per year, that results in the production of 1.5 millions m³ of cheese whey. This waste product has a high energetic value and has been used up to now for pigs feeding, an utilisation that encounters more and more constraints. Alternative ways to recover the valuable resources of cheese whey are the production of renewable energy by producing biogas or bio-ethanol.

The first part of the project presented here aimed to validate a concept for production and use of biogas on-site at a middle-size cheese factory. In a first step, an experimental study was carried out with a down-flow fixed-film bioreactor. This allowed determining the optimal working parameters as well as the performance of the process. The methane yield reached more than 95% of the theoretical potential. Analysis of energy needs of the cheese factory showed that heat in the form of hot water was the most suitable way to use the biogas formed. With optimal energy storage, the biogas production allows replacing two third of the total annual fuel-oil consumption. The overall costs for biogas production and use in a boiler amount to 26 CHF per m³ whey.

INTRODUCTION

La fabrication du fromage peut être décomposée en quatre grandes étapes (figure 2):

- le caillage ou coagulation : sous l'action de ferments (bactéries) ou de pressure (enzymes) les protéines du lait coagulent pour former le caillé. La majeure partie des protéines et des graisses du lait sont retenues dans le caillé
- l'égouttage : on retire l'excédent liquide du caillé : on obtient le lactosérum ou petit-lait, qui contient encore des matières grasses. Selon le type de fromage, l'égouttage peut être accompagné par des étapes de découpage du caillé, brassage, pressage, chauffage (fromages à pâte cuite). Le caillé est finalement moulé
- la salage : la salage favorise la bonne conservation du fromage et accélère le séchage et la formation de la croûte.
- l'affinage ou maturation : la pâte se transforme sous l'action de la flore bactérienne. L'affinage s'effectue à une température et une humidité optimale selon le type de fromage

Il faut environ 11 kg de lait pour faire 1 kg de fromage sec. Il reste donc 10 kg de petit-lait.
--

La principale caractéristique du petit-lait est sa teneur en eau qui avoisine 95% : les éléments nutritifs qu'il contient sont donc dilués.

Les lactosérums sont riches en lactose, potassium et chlorure. Le lactosérum doux est pauvre en calcium. La présence de chlorure et d'acides confère au petit-lait un caractère corrosif.

Le petit-lait n'est pas très riche en protéines : l'élément le plus nutritif est la lysine digestible. Les facteurs limitants sont représentés par les acides aminés souffrés.

En 2002, sur les 1,26 millions de tonnes de petit-lait produit par les fromageries suisses, la valorisation recensée était la suivante¹

- affouragement porcin : 900 000 t
- déshydratation en poudre : 140 000 t
- industries des boissons : 42 000 t
- autres utilisations : 178'000 t

¹ "Production animales" du 7 décembre 2003

La digestion anaérobie ou méthanisation consiste à transformer les matières organiques (sucres, protéines et graisses) en l'absence d'oxygène pour produire du biogaz, c'est à dire un mélange de méthane et de gaz carbonique. La transformation est réalisée par un ensemble de bactéries anaérobies. Outre l'aspect énergétique, la méthanisation présente des avantages pour l'épuration des effluents très chargés comme le petit-lait, avant leur rejet en station d'épuration.

Le biogaz se prête, éventuellement après épuration, à toutes les applications du gaz naturel :

- utilisation en chaudière
- valorisation électrique et thermique par co-génération
- injection dans le réseau de gaz naturel, après une épuration en fonction du type de réseau
- utilisation, après épuration, comme carburant dans tout véhicule fonctionnant au gaz naturel

Malgré les avantages certains de cette filière, elle a été peu explorée jusqu'à maintenant pour la valorisation du petit-lait. A contrario de nombreuses autres industries en Europe utilisent la méthanisation pour le traitement et la valorisation de leurs effluents concentrés.

OBJECTIFS

Le potentiel énergétique du petit-lait, calculé d'après la composition théorique, est très élevé : il représente pour la Suisse quelques 340 GWh par an. Par ailleurs les fromageries ont des consommations énergétiques importantes. Il est donc apparu intéressant de **valoriser l'énergie du petit-lait sur place** pour couvrir une partie des besoins énergétiques de la fromagerie.

Une première revue de la littérature a montré :

- qu'il n'y a pas, à ce jour, de publication sur une installation « en vraie grandeur » de méthanisation de petit-lait non dilué
- qu'il y a de nombreuses études en laboratoire ayant mis en évidence des problèmes techniques et biologiques avec cet effluent

Pour ces raisons le projet comporte une phase de validation expérimentale de la technologie de méthanisation sur du petit-lait non dilué.

Cette démarche a pour but :

- de déterminer les conditions optimales de fonctionnement ainsi que les performances de la production de biogaz à partir de petit-lait, au travers d'une expérimentation de 6 mois à l'échelle pilote sur une fromagerie vaudoise
- d'évaluer la possibilité de valoriser le petit-lait digéré pour l'affouragement
- d'analyser les besoins énergétiques de la fromagerie et de choisir la valorisation énergétique la mieux adaptée
- de réaliser une pré-faisabilité technico-économique pour l'installation d'une unité de méthanisation du petit-lait avec valorisation du biogaz sur le site

ETUDE EXPERIMENTALE

L'installation pilote a été mise en place sur la fromagerie ANDRE à Romanel-sur-Morges, en Suisse. Cette fromagerie produit, selon la saison, du Reblochon, du Vacherin Mont d'Or, de la tomme et de la mozzarella.

Le bioréacteur pilote a été fourni par la société PROSERPOL. Il s'agit d'un méthaniseur de type « lit fixé », c'est à dire où les bactéries sont fixées sur un support immobile. Dans ce cas le support est constitué par des morceaux de tube plastique, d'une densité un peu supérieure à l'eau : le Flocor®. Le volume de liquide total dans le réacteur est de 1 m³ environ et le volume de support est de 800 litres. Le coefficient de vide du Flocor est de 96% et sa surface spécifique est de 240 m²/m³.

Immuable durant le fonctionnement de la méthanisation, le support n'est cependant pas fixé : un dispositif de détassage par injection de gaz comprimé à la base du réacteur permet de mettre ponctuellement le support en expansion. Cela permet de prévenir les phénomènes de colmatage.

Le flux est descendant, et réparti par une rampe d'aspersion située au sommet du réacteur. Le liquide digéré est évacué par le bas du réacteur relié à un système de surverse, dont le niveau réglable permet de choisir également le niveau dans le réacteur.

L'alimentation est assurée par une pompe péristaltique depuis une cuve de stockage du petit-lait. Une recirculation du liquide digéré du bas du réacteur vers le haut est assurée par une deuxième pompe du même type.

La température est maintenue par deux résistances électriques situées dans la partie basse du réacteur, en dessous du support.
 Une représentation schématique du dispositif est reportée sur la figure 1.

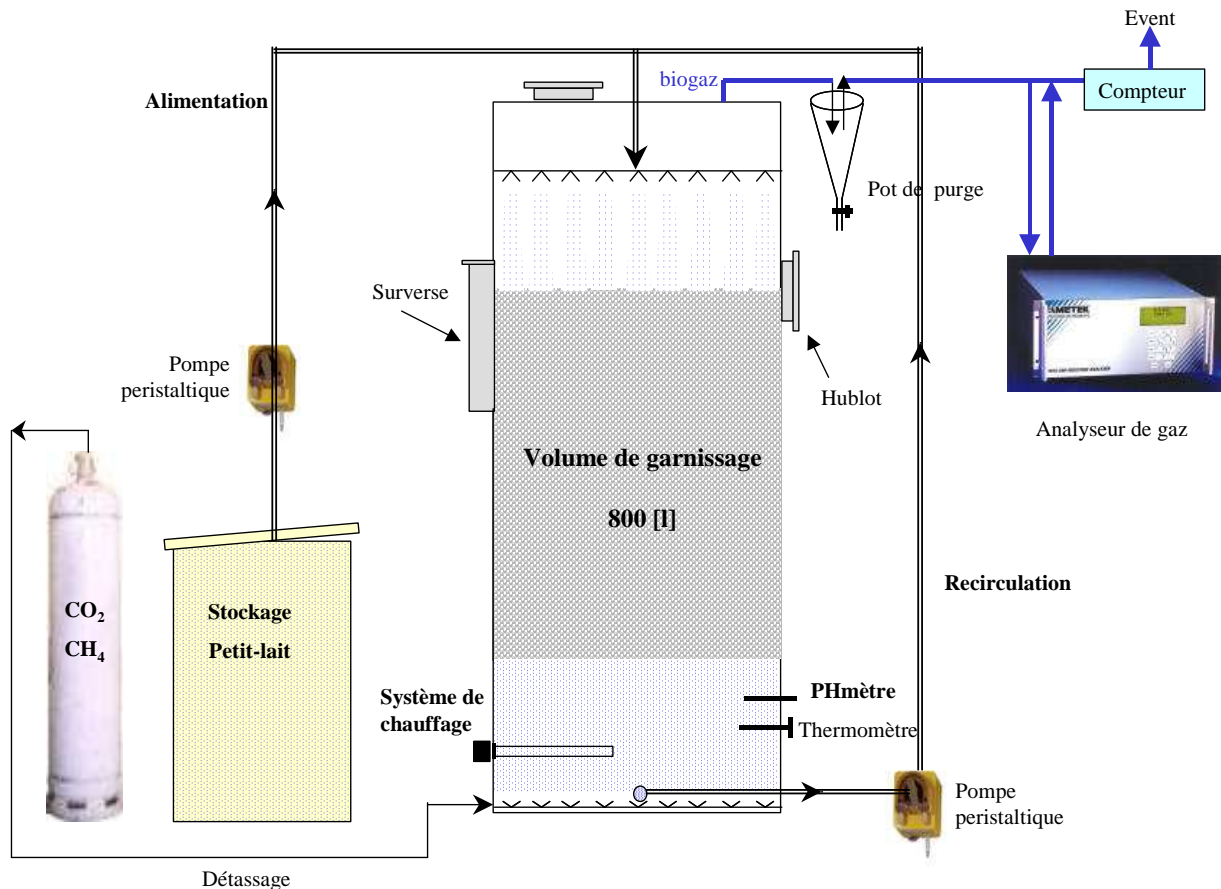


Figure 1 : Schéma du dispositif expérimental de méthanisation du petit-lait

L'expérimentation s'est déroulée selon le calendrier suivant :

Nov 03	Dec 03	Janv 04	Fev 04	Mars 04	Avril 04	Mai 04
mise en place du pilote	démarrage et stabilisation de la digestion			optimisation des paramètres de fonctionnement et définition des performances		

Les performances obtenues sont résumées dans le tableau 1 :

Période	1	2	3	4	5
Charge organique (kg DCO/m ³ .j)	5.2	7.5	10.2	13.3	19.6
Temps de rétention hydraulique (jours)	21.2	11.8	8.7	6.8	4.8
Vitesse de recirculation (m/h)	0.28	0.28	0.30	0.36	0.36
Taux de recirculation (m ³ recir/m ³ réacteur.j)	4.5	4.5	4.8	5.7	5.7
Production de biogaz (m ³ /m ³ réacteur.j)	2.3	3.5	5.1	6.9	10.3
Rendement en biogaz (m ³ /kg DCO _{in})	580	592	629	649	660
Rendement en biogaz (m ³ /m ³ petit-lait)	46.9	41.4	44.4	46.3	48.6
Teneur en CH ₄ du biogaz	53.0	52.5	50.9	50.8	51.3
Rendement en méthane (m ³ /kg DCO _{intro})	309	310	320	330	339
Rdmt en méthane (% du max théorique)	88	89	92	94	97

Rendement de dégradation de la DCO (en%)	95	94	90	90	91
Rendement de dégradation du lactose	100	100	100	100	100

Tableau 1 : Paramètres de fonctionnement et performances

Les conclusions suivantes peuvent être tirées de l'étude expérimentale :

La méthanisation du petit-lait sans dilution, avec une concentration moyenne de 70 g/l de DCO, est validée dans les conditions suivantes :

- type de bio-réacteur : lit fixé avec dispositif d'expansion du support pour éviter les colmatages
- petit-lait stabilisé par l'acide formique durant le stockage
- température de fonctionnement de 36 à 40°C
- charge organique de 20 kg DCO/m³.j
- supplémentation en éléments traces métalliques (à optimiser)
- régulation du pH avec du bicarbonate de soude

Les performances obtenues dans ces conditions sont excellentes, soit :

- abattement de la DCO totale de 91%
- rendement en méthane de 340 litres/kg DCO_{in}, soit 97% du rendement maximum théorique
- production de 44 litres de biogaz et 22 litres de méthane, par m³ de petit-lait traité avec 70 g/l de DCO
- système parfaitement stable comme l'indique l'absence d'accumulation d'acides gras volatils, intermédiaires essentiels du processus de digestion

CONTRIBUTION DU BIOGAZ AUX BESOINS ENERGETIQUES DE LA FROMAGERIE

A partir des résultats de l'expérimentation sur pilote, on a évalué le potentiel biogaz mobilisable à partir du petit-lait produit annuellement par la Fromagerie ANDRE, qui transforme annuellement 3'300 litres de lait et produit 2'800 m³ de petit-lait.

Une analyse énergétique du site a permis de définir les besoins de la fromagerie et d'opter pour une valorisation thermique du biogaz en substitution du mazout.

Les résultats des flux de matières et d'énergie sont présentés dans le figure 2 :

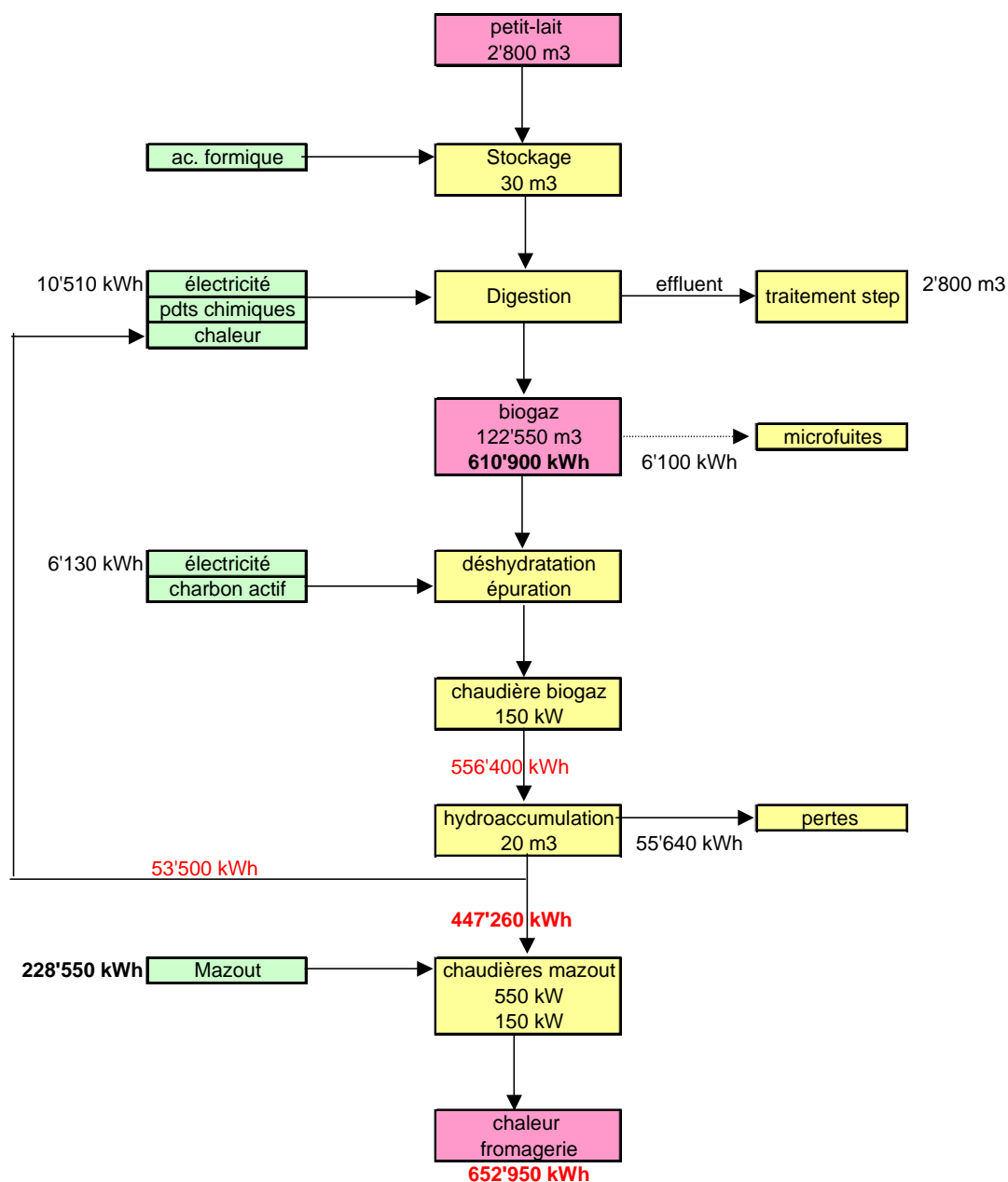


Figure 2 : Flux de matières et d'énergie de l'installation retenue sur une base annuelle

FAISABILITE ECONOMIQUE

Schématiquement, l'installation est composée des unités suivantes :

- un stockage du petit-lait de 30 m³ en PEHD¹ calorifugé, avec mesure de niveau, pompe de soutirage et mesure de débit
- un bio-réacteur de méthanisation à lit fixé à flux descendant de 110 m³ total en SVR², calorifugé, avec 1 groupe électropompe de recirculation et une mesure de débit, une mesure de niveau, une mesure de pression
- un échangeur de chaleur pour le réchauffage de l'influent avec boucle de régulation de la température
- un compresseur à biogaz pour le détassage, débit 200-900 m³/h
- un dispositif d'addition de base ou sels tampon, avec pompe doseuse et mesure de pH
- un dispositif d'addition de solution d'éléments traces métalliques
- un dispositif d'addition d'anti-mousse

¹ PEHD : Polyéthylène Haute Densité

² SVR : Stratifié Verre Résine

- une ligne biogaz avec casse vide / soupape hydraulique, mesure de débit, contrôle de pression, échangeur tubulaire pour le séchage, filtre à charbon et surpresseur
- une chaudière à biogaz de 120 kW
- deux ballons d'hydroaccumulation de 10 m³ chacun
- les systèmes de régulation, conduites, raccordement, isolation, électricité, transport et montage.

Le coût global du traitement de petit-lait par méthanisation, avec valorisation thermique du biogaz, s'établit à 25.6 CHF par m³, soit un surcoût de 8 CHF/m³ par rapport au coût actuel pour la fromagerie de référence.

	Coût en CHF HT/m ³ petit-lait
Frais d'investissement	21.7
Frais d'exploitation	12.8
Sous-total	34.5
Substitution mazout	- 8.9
TOTAL	25.6
Coût de la prise en charge pour l'affouragement	- 18
Surcoût de méthanisation	7.6

Tableau 2 : Détail du coût de traitement du petit-lait par méthanisation

CONCLUSIONS

La production de biogaz, bien que développée dans d'autres industries agroalimentaires, n'est pas à ce jour appliquée industriellement à la valorisation de petit-lait pur. Pourtant les perspectives en sont prometteuses, et les fromageries sont de gros consommateurs d'énergie : cette première partie de l'étude était destinée à valider un concept de traitement sur le site d'une fromagerie.

L'étude expérimentale a été réalisée sur un méthaniseur pilote adapté à ce type substrat, utilisant la technologie du lit fixé à flux descendant. Elle a permis de démontrer la faisabilité du traitement et d'en définir les performances ainsi que les paramètres de fonctionnement. Le petit-lait utilisé avait une teneur moyenne en DCO de 70 g/l. Des rendements de dégradation de plus de 90% de la DCO, et des productivités en méthane correspondant à 95% du maximum théorique ont été obtenus, soit dans notre cas une production de 22 m³ de méthane par m³ de petit-lait. Une complémentation avec une solution minérale a été nécessaire pour stabiliser la digestion : dans ces conditions des charges de 20 kg DCO/m³_{réacteur}·jour ont été appliquées, sans atteindre la limite du déséquilibre.

L'analyse des consommations énergétiques de la fromagerie a montré que la valorisation optimale du biogaz était la valorisation thermique. La consommation d'énergie thermique est bien corrélée à la production de fromage et donc de petit-lait. Ceci permet une valorisation optimale sur une base annuelle. Ainsi, dans le cas de la fromagerie étudiée, la production de biogaz permet de substituer 68% du mazout consommé annuellement.

L'étude économique, réalisée sur la base des résultats obtenus, a montré que le coût total de la production et de la valorisation du biogaz à partir de petit-lait se monte à 26 CHF environ par m³ de petit-lait. Cette solution pourrait donc rapidement s'avérer économiquement intéressante dans le cas, de plus en plus fréquent, où la fromagerie doit payer pour la prise en charge du petit-lait des montants qui atteignent actuellement déjà 15 à 20 CHF/m³.

Globalement le surcoût généré par la production et la valorisation de biogaz se monte donc actuellement à 8 CHF/m³ de petit-lait¹. La rentabilité de l'opération sera réalisée lorsque le coût de prise en charge du petit-lait atteindra 26 CHF/m³.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée avec le soutien financier de l'Office Fédéral de l'Energie, Berne, Suisse et avec le concours de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne-Laboratoire de Biotechnologie Environnementale.

¹ Sur la base d'un coût de 1.8 ct/litre pour la prise en charge du petit-lait vers l'affouragement porcin.