



La définition des parts d'énergie de procédé d'une installation de biogaz

W. Göbel

Pendant le semestre hivernal, l'énergie de procédé d'une installation de biogaz est très élevée. En plus de la quantité et la température du lisier frais et à part la puissance de l'isolation du digesteur, le rendement du chauffage joue un rôle considérable pour la quantité de l'énergie de procédé. Il ne faut pas non plus négliger les pertes dans les conduites de chauffage. Par contre, le besoin de courant des moteurs pour le fonctionnement de l'installation est minime. Les mesurages faits à une installation de biogaz pendant le semestre hivernal 1981/82 et les calculs effectifs ont démontré ces relations de façon plus détaillée.

La part calculée d'énergie de procédé et la part effective d'énergie de procédé ne correspondent que rarement et il est démontré dans la pratique que souvent plus de 20 à 40% du gaz produit en tant que gaz de procédé, mentionné dans la littérature, reflue dans l'installation. Pour cette raison on peut se poser la question, à savoir si les bases de la planification suffisent en général pour déterminer à l'avance l'énergie de procédé nécessaire.

C'est la raison pour laquelle l'objectif de l'essai consistait à calculer aussi bien les parts de chaleur de procédé individuelles que le rendement thermique pendant un semestre hivernal, sur la base des mesurages de la quantité du gaz produite et nécessaire pour le fonctionnement de l'installation, de la qualité du gaz, de la quantité et de la température du lisier entrant, de la température de l'air et de la température de service ainsi que de la température aller et de la température retour.

A cette occasion, les pertes de chaleur suivantes ont été considérées en tant qu'énergie de procédé:

- pertes par transmission thermique
- réchauffement du lisier frais
- pertes par les conduites du chauffage

L'énergie nécessaire à l'entraînement des moteurs électriques fait également partie de l'énergie de procédé. Bien entendu, cette énergie ne peut être couverte directement par le biogaz qu'avec l'emploi d'une installation thermique de couplage entraînée au gaz.

1. Description de l'installation et évolution de l'essai

L'installation de biogaz reçoit le lisier d'une porcherie (fromagerie) de **600 porcs à l'engraissement**. Une fois par jour, à quelques exceptions près, la pré-fosse entière de 1,6 m³ de lisier est pompée dans le digesteur. En ouvrant les raclettes des caniveaux de lisier dans l'étable, la pré-fosse se rem-

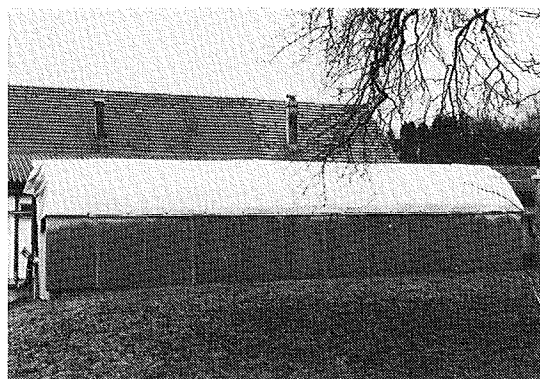


Fig. 1: Vue d'ensemble de l'installation de biogaz construite dans un vieux réservoir d'huile des CFF.

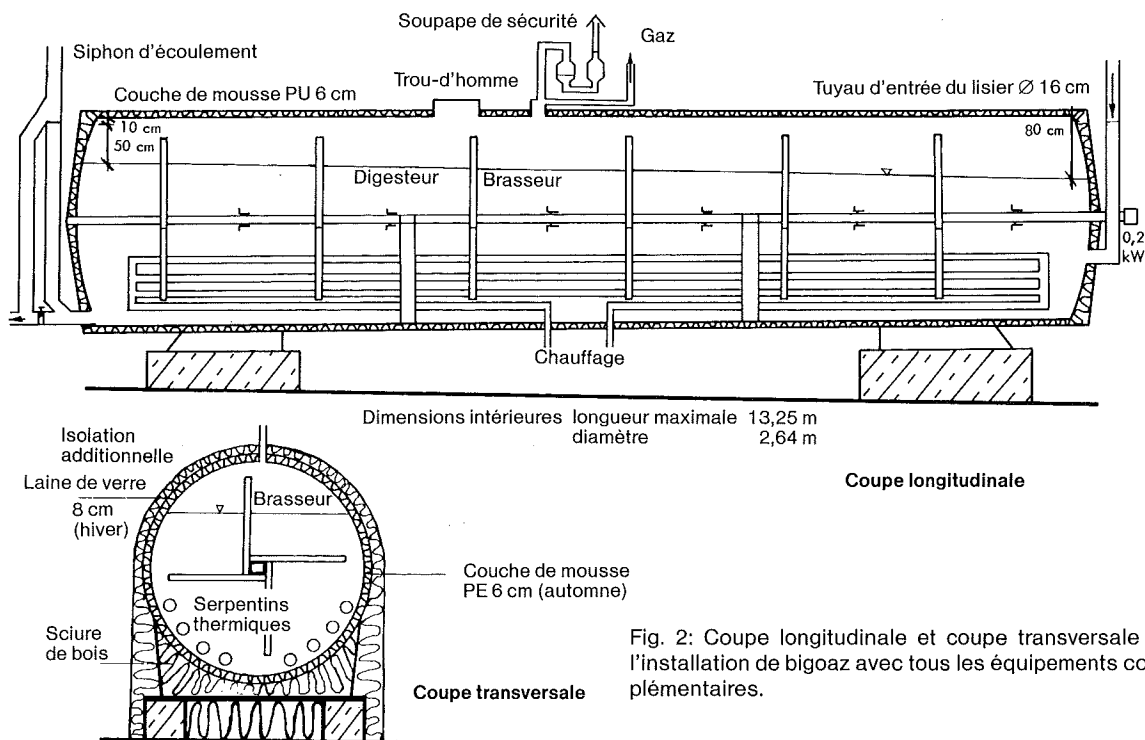


Fig. 2: Coupe longitudinale et coupe transversale de l'installation de bigoaz avec tous les équipements complémentaires.

plit surtout avec de la masse épaisse tandis que le lisier d'urine d'éborde.

Le **digesteur** est un vieux réservoir d'huile des CFF, d'une capacité de 71 m³, en tôle d'acier d'une épaisseur de 6 mm (superficie

117 m²). Il est muni de serpentins thermiques ainsi que d'une isolation par une couche de mousse PU, d'une épaisseur de 6 cm, qui est couverte d'une tôle d'aluminium (fig. 1). Les équipements complémentaires suivants étaient nécessaires: Un **brasseur** avec un moteur à engrenages de 0,18 kW de puissance absorbée (fig. 2), une soupape de sécurité, un tuyau de reprise de gaz, un tuyau d'entrée pour le lisier frais (fig. 3) et un siphon d'écoulement (fig. 4).

Le **gaz** est utilisé entièrement pour la préparation d'eau chaude pour la fromagerie, s'il n'est pas utilisé pour le chauffage du digesteur. Le brûleur de gaz à la chaudière de chauffage dans la fromagerie s'enclenche à une pression de gaz de 50 mbar et brûle jusqu'à ce que la pression tombe à 10 mbar. La pression est produite dans le réservoir, situé dans le **compartiment collecteur de gaz placé au-dessus du lisier**, qui contient environ 15 m³ (fig. 2). L'agriculteur économise ainsi un accumulateur. Toutefois, à cause de l'effet d'accumulation minime, le brûleur s'enclenche souvent. Le radiateur mural (à chauffage continu) pour le chauffage du digesteur est enclenché manuellement (fig. 5).

Les essais ont duré depuis le mois de septembre 1981 jusqu'au mois de février 1982.

A fin novembre 1981, l'isolation du fermenteur a été substantiellement renforcée.

La valeur-k du digesteur a été calculée d'après les chiffres et les formules indiquées dans les normes SIA. Un schéma de

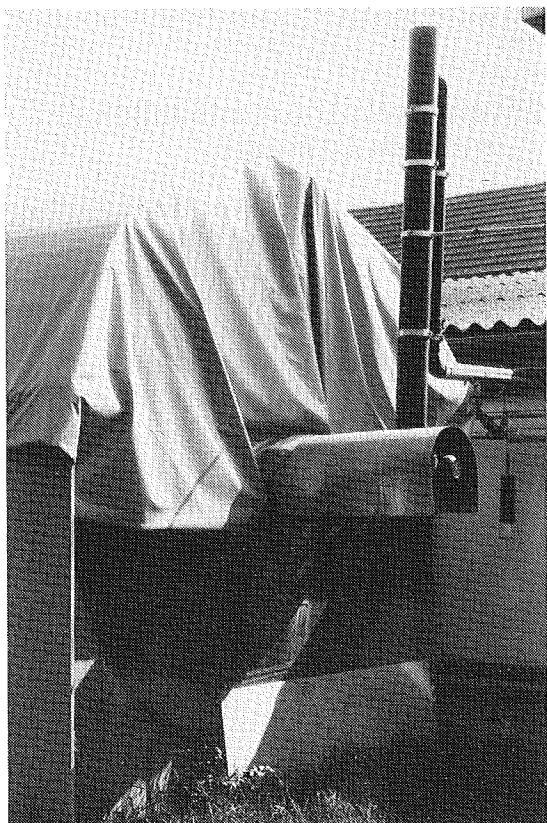


Fig. 3: Le siphon d'entrée et le moteur d'embrayage pour le brasseur.

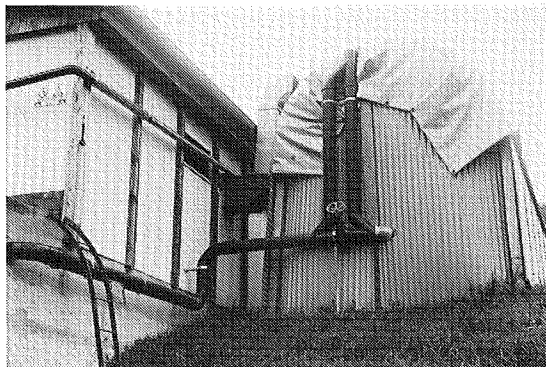


Fig. 4: Le côté frontal nord de l'installation avec siphon d'écoulement.

calcul simplifié, c'est-à-dire, sans tenir compte des valeurs de transmission thermique avec une isolation plus forte à partir du mois de décembre, ne donnait plus de différences dans le résultat. La valeur-k de 0,23 W/m °C pour les conduites thermiques d'une longueur totale de 30 m, provient d'un tableau EMPA.

Voici les données enregistrées chaque jour:

- température de service
- température moyenne de l'air
- quantité de gaz produite
- quantité de gaz de procédé

La teneur en dioxyde de carbone (CO₂) du gaz (méthode Orsat) et la température du li-

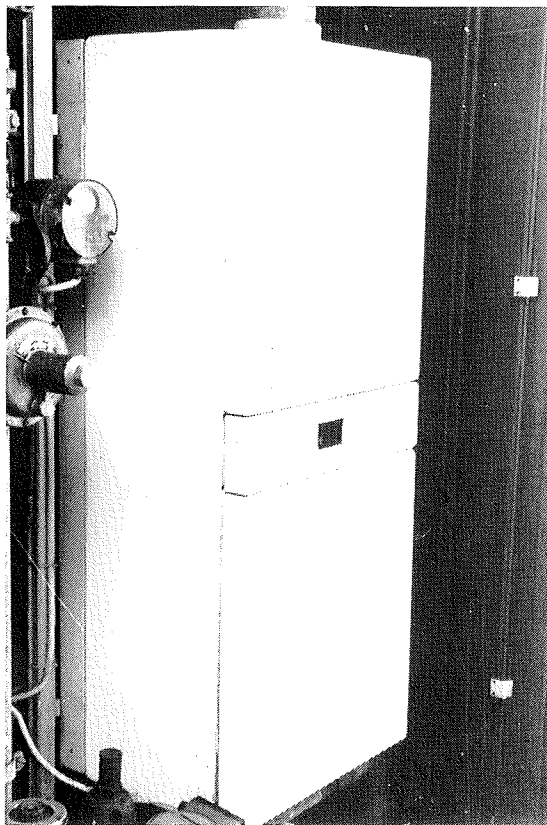


Fig. 5: Radiateur mural (Vaillant).

sier frais ont été mesurées tous les 3 à 7 jours et les températures aller et retour, toutes les 2 semaines. Deux fois au cours de la durée des essais, la puissance absorbée et la durée de fonctionnement de tous les moteurs ont été déterminées, ainsi que la teneur en matière sèche du lisier.

2. Formule arithmétique

- Perte de la transmission thermique: $E_T = 24 \cdot F \cdot \text{valeur-k} [t_B - t_L] / 1000$ [kWh/jour] [1]

- Réchauffement du lisier frais: $E_F = 1,16 \cdot Q_F [t_B - t_F]$ [kWh/jour] [2]

- Perte dans les conduites de chauffage: $E_H = L \cdot \text{valeur-k}' \cdot Z [t_H - t_A] / 1000$ [kWh/jour] [3]

- Modification de la température de service: $E_B = 1,16 \cdot Q [t_{BE} - t_{BA}] / N$ [kWh/jour] [4]

La température de service tient compte de la capacité d'accumulation thermique du contenu du digesteur. Par exemple, une augmentation de la température de service de seulement 0,1° C, exige 6,5 kWh pour un contenu de digesteur de 56 m³.

En divisant la somme des quatre parts d'énergie de procédé par le contenu d'énergie du biogaz nécessaire au chauffage du digesteur, on obtient le rendement thermique du chauffage.

$$\eta = [E_T + E_F + E_H + E_B] / E_G \quad [5]$$

- Energie électrique:

monophasé: $E_M = 0,22 \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot Z$ [kWh/jour] [6]

triphase: $E_M = 0,38 \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi \cdot Z$ [kWh/jour] [7]

Explication des signes:

- t_B = température de service en °C
- t_L = température de l'air en °C
- t_F = température du lisier frais
- t_H = température des conduites de chauffage en °C
- t_A = température ambiante des conduites en °C
- t_{BA} = température de service au départ en °C
- t_{BE} = température de service à la fin en °C
- F = superficie du digesteur en m²
- Q_F = quantité entrant par jour en m³
- Z = durée du chauffage du digesteur, et des moteurs en h
- L = longueur des conduites en m
- Q = contenu du digesteur de lisier en m³
- N = nombre de jours
- η = rendement thermique
- E_G = Contenu d'énergie du gaz pour le chauffage en kWh/jour
- I = puissance du courant en Amp.
- $\cos \varphi$ = facteur de la puissance effective, normal 0,8

Afin de déterminer la qualité du gaz – étant donné que seul le contenu en CO₂ du biogaz a été mesuré – il fallait tenir compte que le biogaz en plus du méthane en tant qu'agent énergétique, contient, à part le CO₂, également de la vapeur d'eau et des traces d'acide sulfhydrique ainsi que d'autres gaz, pour environ 2 à 3 %.

Tableau 1: Résultat des mesurages

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Févr.	Ø
Lisier en l/jour	1600	1600	1600	1639	1600	1600	1606
Température de l'air °C	12,7	8,8	4,1	-0,4	-1,1	-0,2	4,0
Température du lisier frais	20	19	18	16	15	15	17
Température de service	31,9	31,8	31,6	31,9	32,1	31,6	31,8
Production de gaz m³/jour	48,9	45,1	46,7	46,0	44,9	42,1	45,6
Quantité de gaz de procédé m³/jour	16,9	21,2	21,6	18,8	19,8	19,4	19,6

Pour le mètre cube normal de méthane (0° C et 1013 mbar de pression d'air), on compte 9,94 kWh en tant que valeur thermique inférieure. Mais comme nous avons mesuré à raison de 20° C et de 950 mbar de pression d'air (alt. 530 m), et de 30 mbar de surpression de service, le mètre cube de méthane mesuré ne contient que 8,96 kWh d'énergie.

3.1 Résultats des mesurages

La même quantité de lisier entrant, c'est-à-dire 1,6 m³/jour, provient de la grandeur de la pré-fosse. **La température du lisier frais de 15 à 20° C est très haute, comparée à d'autres installations allant jusqu'à 5° C**, parce qu'il ne se passe que 10 minutes depuis la première manipulation du poussoir dans l'étable jusqu'au pompage consécutif du lisier de la pré-fosse. Une quantité égale de lisier entrant et une température de service égale d'environ 31,8° C conduisent **pendant six mois à une production de gaz constante de 49 à 42 m³/jour**.

3.2 Résultats convertis et part de gaz de procédé

Le tableau no. 2 comprend la teneur en énergie de la production de gaz et du gaz de

procédé mesuré ainsi que la part de gaz de procédé à la production de gaz.

Etant donné que la composition du gaz restait à peu près constante, les rendements énergétiques journaliers moyens étaient également presque constants. Par là, la vue d'ensemble sur la part d'énergie de procédé, sur l'importance des parts individuelles de l'énergie de procédé et sur le rendement du chauffage est facilitée.

A l'exception du mois de septembre, la part du gaz de procédé entre 41 et 47 % est relativement importante, si on compare avec la production de gaz. En général, on compte 20–40 %. En tenant compte de **42 à 49 m³** de gaz par jour, 1,6 m³ de lisier d'une teneur en MS de 8–9 % correspond plus ou moins à la production de gaz que l'on attend (tableau no. 1). La part importante d'énergie de procédé ne peut donc être justifiée par une mauvaise production de gaz. Bien entendu, selon la règle, la durée moyenne du lisier dans le digesteur de 35 jours est à peu près deux fois plus importante que pour le lisier porcin. La production de gaz est donc plutôt en-dessous de la moyenne espérée. L'effet d'isolation en hiver était le double de celui de l'automne (0,48 et 0,23 W/m² °C).

Tableau 2: Teneur en énergie de la production de gaz et du gaz de procédé mesuré et la part de gaz de procédé.

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Févr.	Ø
% CO ₂	34	34	34	33	33	33	34
Teneur en énergie kWh/m³	5,6	5,6	5,6	5,7	5,7	5,7	5,7
Production de gaz kWh/jour	273,9	252,4	261,7	262,4	256,0	240,0	257,7
Gaz de procédé kWh/jour	94,7	118,9	121,2	107,0	112,7	110,6	110,8
Part de gaz de procédé %	35	47	46	41	44	46	43

Tableau 3: Les parts d'énergie de procédé calculées

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Févr.
E _T kWh/jour [%]	26,0 [53]	31,0 [53]	37,1 [55]	21,0 [39]	21,6 [39]	20,6 [38]
E _F kWh/jour [%]	22,1 [45]	23,8 [41]	25,1 [38]	30,3 [56]	31,7 [57]	30,9 [57]
E _H kWh/jour [%]	2,2 [4]	3,1 [5]	3,5 [5]	3,3 [6]	3,5 [6]	3,3 [6]
E _B kWh/jour [%]	-1,2 [-2]	0,4 [1]	1,1 [2]	-0,2 [-1]	-0,8 [-2]	-0,7 [-1]
Σ E kWh/jour	49,1 [100]	58,3 [100]	66,8 [100]	54,5 [100]	56,0 [100]	54,2 [100]

Pour cette raison, la quantité de gaz de procédé était en moyenne la même que pendant les mois d'automne (de septembre à novembre), avec une température de l'air moyenne de 8,5° C; comme pendant les mois d'hiver, de décembre à février, avec une température de l'air moyenne de -0,6° C (tableau no. 1). Autrement dit, la perte thermique de transmission diminuait en hiver en proportion à l'augmentation du réchauffement du lisier frais qui était à une température plus basse.

3.3 Les parts de chaleur de procédé calculées sur la base des mesurages de la température et de la quantité de lisier

Le tableau no. 3 montre les résultats des parts de chaleur de procédé calculées sur la base des mesurages de la température et du lisier frais entrant; entre parenthèses, la répartition en %.

La part du réchauffement du lisier frais à la chaleur de procédé est de 57% en hiver. Ainsi, en hiver, la part du réchauffement du lisier frais est tout juste 1,5 fois la hauteur de la perte de transmission thermique. Cette proportion a été atteinte par la haute température du lisier frais de plus de 15° C (tableau no. 1) et par la teneur en MS proportionnellement importante du lisier: 8 à 9% (normal: 4% à raison d'une dilution de 1 : 1). Inversement, cette proportion est quelque peu diminuée étant donné que le digesteur est trop grand et la surface des parois est trop importante (voir commentaires concernant la durée). En automne, à cause de l'isolation plus mauvaise, la part des pertes thermiques de transmission était même plus haute que la part du réchauffement du lisier frais (fig. 6).

La perte dans les conduites de chauffage en hiver représente 6% de la chaleur de

procédé, et cela, malgré les serpentins entièrement isolés et pas trop longs. Il ne faut en aucun cas ignorer les pertes dans les conduites de chauffage surtout si le digesteur est bien isolé.

3.4 Le rendement du chauffage

Le rendement du chauffage inclut les pertes suivantes: chaudière, arrêt et veilleuse d'allumage. Avec des radiateurs muraux à gaz naturel, on obtient un rendement de plus de 75%. Mais avec le biogaz, les lamelles des échangeurs thermiques étaient toujours très encrassées, même peu de temps après le nettoyage. Des températures aller trop basses (55° C) conduisaient à la formation de condensation et à des corrosions, diminuant ainsi considérablement le rendement. Dans le tableau no. 4, on indique le rendement du chauffage (formule [5]):

Tableau 4: le rendement du chauffage

Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Févr.	Ø
52	49	(55)	51	50	49	51

Selon nos attentes **le rendement du chauffage à raison de 49 à 55% est très bas.** Cela explique la part importante de gaz de procédé de l'installation. Cela souligne l'importance d'un chauffage approprié pour des installations de biogaz.

Le rendement supérieur pendant le mois de novembre (de 55%) (tableau no. 4) ne correspond pas tout à fait aux faits, car l'isolation a été améliorée pendant plusieurs jours vers la fin du mois de novembre et était donc déjà efficace; mais cela n'est pas été considéré lors de la calculation des pertes de transmission thermique.

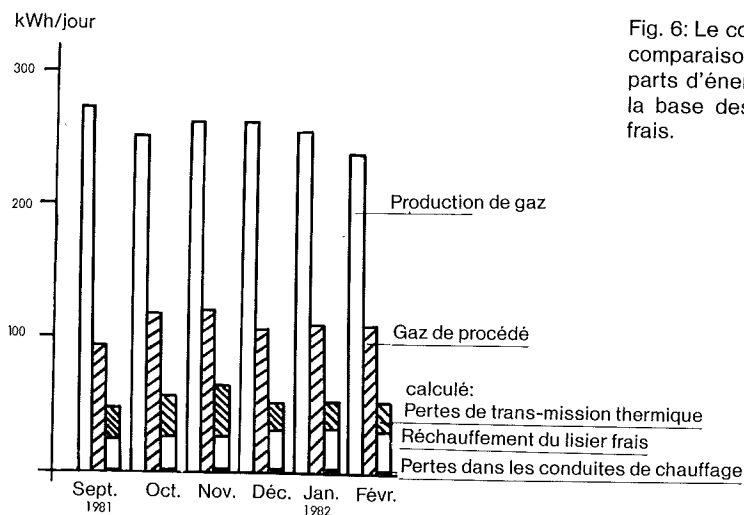


Fig. 6: Le contenu d'énergie de la production de gaz en comparaison avec la quantité de gaz de procédé et les parts d'énergie de procédé individuelles calculées sur la base des températures et de la quantité du lisier frais.

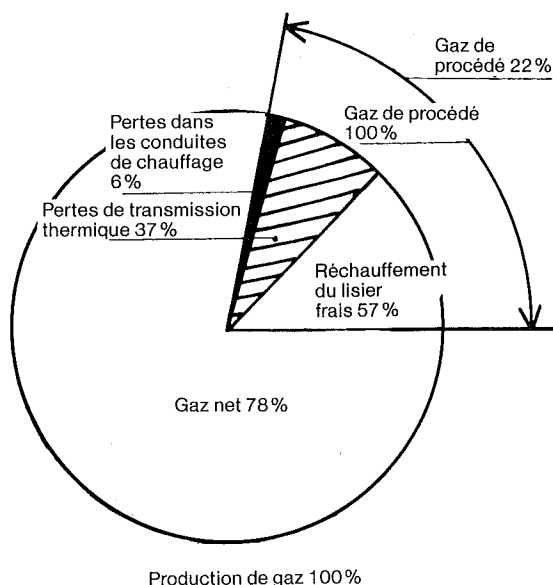


Fig. 7: Le besoin en gaz de procédé de l'installation de biogaz en moyenne annuelle avec l'isolation améliorée et un rendement thermique de 75 %.

3.5 La part de gaz de procédé avec un rendement amélioré

Si le rendement du chauffage était de 75 % au lieu de 50 %, comme cela peut être normalement attendu, **la part de gaz de procédé n'aurait été que de 29 % au lieu de 44 % (tableau no. 2), même en hiver.**

Afin d'obtenir une vue d'ensemble approximative sur la moyenne annuelle de la part de gaz de procédé de l'installation, il est recommandé de se baser sur les résultats du mois d'octobre, puisque la température de l'air de 8,8° C (tableau no. 1) ne se distingue guère de la température moyenne annuelle de 8,6° C. Si l'on prend la valeur-k, telle qu'elle existe pendant les mois d'hiver, et si on suppose un rendement thermique de 75 %, ce qui est normal pour les chaudières, on obtient le résultat indiqué dans le tableau no. 7. **La part de gaz de procédé en moyenne annuelle ne se situe donc qu'à 22 % de la production du gaz à cause du lisier épais et de sa haute température,**

c'est-à-dire, à la limite inférieure de la portée mentionnée dans la littérature.

3.6 Energie mécanique

Selon le tableau no. 5 **les trois consommateurs de courant** de cette installation de biogaz – pompe de circulation, brasseur et pompe à lisier – **n'utilisent** que 1,0, 1,3 et 0,5 kWh/jour, donc au total **moins de 3 kWh/jour**. Le besoin de courant de cette installation est donc minime.

La petite part de courant de la puissante pompe de lisier est étonnante, ce qui est dû à la courte durée de fonctionnement de la pompe. La pompe de circulation du chauffage à fonctionnement plus long nécessite davantage de courant que la pompe à lisier. Il faut également se rendre compte que la puissance absorbée, calculée sur la base de la puissance de courant mesurée, est dans les 3 cas plus importante que les kW indiqués; pour la pompe de circulation elle est même du double. Cela est dû au fait que le rendement des petits moteurs est très mauvais. Pour cette raison, en calculant le besoin de courant d'une installation de biogaz il ne faut pas partir des kW indiqués, car ceux-ci n'indiquent souvent que la puissance réalisée et non la puissance absorbée.

4. Résumé

L'essai confirme **qu'en pratique, on a souvent besoin de parts de gaz de procédé plus importantes pour les installations de biogaz que celles qui sont prévues**. Pour cette installation et avec une production de gaz tout à fait normale, on a dû utiliser en automne 42 % et en hiver 44 % en tant que gaz de procédé, malgré un rendement d'isolation du simple au double (par rapport à 20–40 %).

Ce résultat a étonné, car on disposait de bonnes conditions préalables pour une part minime de gaz de procédé, à savoir **une teneur en matière sèche de 8 à 9 % et une**

Tableau 5: Energie mécanique

Appareil	Tension kV	Puissance de courant en A mesurée	Puissance indiquée	Puissance absorbée kW calculée	Durée de fonctionnem. h/jour	Consommation de courant kWh/jour
Pompe de circulation thermique [radiateur mural]	0,22	0,57	0,05	0,10	jusqu'à 10	jusqu'à 1,0
Brasseur	0,38	0,60	0,18	0,32	4,0	1,3
Pompe à lisier	0,38	9,0	4,1	4,7	0,1	0,5
Total						inférieur 2,8

température importante du lisier frais, de 15 à 20%.

Finalement, on a pu attribuer ce résultat défavorable au **rendement très bas du radiateur mural d'environ 50% seulement**, pendant toute la durée de l'essai.

Avec un rendement de 75% et l'isolation obtenue en hiver, la part de gaz de procédé n'aurait dû s'élever qu'à environ 22% durant l'année.

L'essai démontre également que, **d'une part, et pour pouvoir planifier, la quantité et la température du lisier doivent être mesurées très exactement** et que, d'autre part, des valeurs de moyenne suffisent pour les calculs. Il ne faut pas non plus négliger les ponts de refroidissement à l'isolation du digesteur et les pertes dans les conduites de chauffage qui **nécessitent déjà 6% du gaz de procédé** avec une bonne isolation et des conduites pas trop longues.

Des demandes éventuelles concernant les sujets traités ainsi que d'autres questions de technique agricole doivent être adressées aux conseillers cantonaux en machinisme agricole indiqués ci-dessous. Les publications et les rapports de texts peuvent être obtenus directement à la FAT (8355 Tänikon) (Tél. 052 - 47 20 25, bibliothèque).

BE	Furer Willy, 032 - 91 42 71, 2710 Tavannes
FR	Lippuner André, 037 - 82 11 61, 1725 Grangeneuve
TI	Müller A., 092 - 24 35 53, 6501 Bellinzona
VD	Gobalet René, 021 - 71 14 55, 1110 Marcellin-sur-Morges
VS	Balet Michel, 027 - 36 20 02, Châteauneuf, 1950 Sion
GE	AGCETA, 022 - 96 43 54, 1211 Châtelaine
NE	Fahrni Jean, 038 - 22 36 37, Le Château, 2001 Neuchâtel
JU	Donis Pol, 066 - 22 15 92, 2852 Courtemelon / Courtételle

Les numéros de la «Documentation de technique agricole» peuvent être également obtenus par abonnement en langue allemande. Ils sont publiés sous le titre général de «Blätter für Landtechnik». Prix de l'abonnement: Fr. 30.- par an. Les versements doivent être effectués au compte de chèques postaux 30 - 520 de la Station fédérale de recherches d'économie d'entreprise et de génie rural, 8355 Tänikon. Un nombre limité de numéros photocopiés en langue italienne sont également disponibles. - La «Documentation de technique agricole» paraît mensuellement!
