



UNITE 4

BIOGAZ



SOMMAIRE

I. Introduction	4
I.1 Qu'est-ce que le biogaz ?	4
I.2. Où se constitue le biogaz ?	4
I.3. Le biogaz – une alternative aux ressources énergétiques fossiles	4
II. Matières premières pour la production de biogaz	5
II.1. Types de biomasse	6
II.2. A propos de certains problèmes liés à la biomasse	7
II.3. Quel type de biomasse possède le plus haut potentiel énergétique ?	8
II.4. Processus biochimiques et microbiens s'effectuant dans la biomasse	8
III. Facteurs de la méthanisation	9
III.1. Présence d'oxygène (O ₂)	9
III.2. Humidité du substrat	9
III.3. Protection contre la lumière	10
III.4. Conditions de température	10
III.5. pH du milieu et degré de charge du digesteur	11
III.6. Fourniture de produits alimentaires	12
III.7. Traitement mécanique et surface du substrat	12
III.8. Déposition régulière du substrat	12
III.9. Dégazage du substrat	12
IV. Création, développement et distribution des installations de biogaz	12
IV.1. Schéma général d'une installation de biogaz de substrats liquides	13
V. Equipements techniques de l'installation de biogaz	14
V.1. Assurer les processus technologiques.	14
V.1.1. Préparation et conservation du substrat	14
V.1.2. Fractionnement et dilatation de la biomasse.	15
V.2. Technique de fourniture du substrat	17
V.2.1. Système hydraulique d'alimentation	17
V.2.2. Systèmes mécaniques d'alimentation	18
V.3. Digesteurs des installations de biogaz	20
V.3.1. Système d'entretien de la température dans le digesteur	21
V.3.2. Systèmes de mixage	22
V.4. Les pompes	26
V.5. Armature distributive et de commande	27
VI. Classification des installations de biogaz	28
VI.1. Classification technique et technologique	28
VI.1.1 Classification des installations suivant la matière sèche du substrat	28
VI.1.2. Classification suivant le régime d'alimentation du bio digesteur	28
VI.1.3. Classification suivant la capacité du digesteur	28



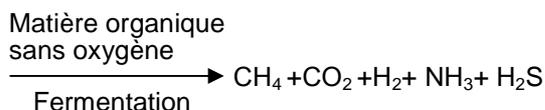
VI.1.4. Classification suivant le nombre de digesteurs – réservoirs	28
VI.2. Systématisation des installations de biogaz d'après le mode de leur construction	30
VI.2.1. Digesteurs souterrains ou semi souterrains	30
VI.2.2. Installations situées sur la surface terrestre	30
VI.3. Classification selon le mode de conservation de biogaz	31
VI.3.1. Installations à digesteur et réservoir à gaz communs.....	31
VI.3.2. Digesteur et réservoir à gaz construits séparément (gazomètre)	32
VI.4. Classification des installations de biogaz d'après les matériaux de construction utilisés .	33
VI.5. Conclusions sur la classification des installations de biogaz	35
VII. Quelles sont les avaries les plus rencontrées et les inconvénients des installations de biogaz de substrats liquides ?	36
VIII. Méthode de production de biogaz à base de déchets ménagers durs	36
IX. Comment utilise-t-on le biogaz produit?	38
IX.1. Brûlé directement	38
IX.2. Cogénération, soit une production combinée d'électricité et de chaleur	38
IX.3. Triple fonction	39
IX.4. Enrichissement du biogaz	40
X. Modèle d'analyse économique d'une installation agricole de biogaz	40
X.1. Facteurs du résultat économique.....	40
X.2. Paramètres économiques d'installation de biogaz à l'étape de projection	41
X.3. Exemple : Résultat financier final d'une installation de biogaz.....	43
X.3.1. Recettes en produits et recettes financières	43
X.3.2. Dépenses.....	43
XI. Etudes de cas (installations de biogaz)	44
XI.1. Installation de biogaz SCHMITS à Aschaffendorf.....	44
XI.2. Installation de biogaz DAMMANN à Harzeffeld – Icendorf	46
BIBLIOGRAPHIE	47



I. Introduction

I.1 Qu'est-ce que le biogaz ?

Le biogaz est un combustible obtenu par des processus hydrolytiques et de fermentation d'une matière organique hautement moléculaire dans un milieu sans oxygène (dit anaérobie). La dégradation des composants organiques et la production de biogaz s'effectuent selon le schéma :



La composition du biogaz dépend d'un certain nombre de facteurs physiques, chimiques et microbiens mais le plus souvent sa composition est la suivante :

Méthane (CH ₄)	50-75%
Dioxyde de carbone (CO ₂)	25-50%
Azote (N ₂)	0-7%
Oxygène (O ₂)	0-2%
Hydrogène (H ₂)	0-1%
Hydrogène sulfuré (H ₂ S)	0-1%

L'azote et le soufre sont présents dans le biogaz si la matière première est riche en protéine (par exemple des résidus des abattoirs et des industries laitières).

La puissance calorifique du biogaz correspondant à une telle composition chimique est de 22-26 MJ/m³ et dépend surtout de la part relative du méthane (CH₄).

I.2. Où se constitue le biogaz ?

Dans des conditions naturelles, le biogaz se forme dans des endroits, riches en matière organique pourrie. La découverte du biogaz est liée au nom de Shirley qui publie en 1677 un ouvrage sur le "gaz des marais". Plus tard, en 1776 Alessandro Volta l'appelle "air combustible" et fait la liaison avec des terrains marécageux, riches en végétation pourrie. Louis Pasteur établit, par la suite, que le biogaz est un produit de l'action des microorganismes.

Quotidiennement des milliers de tonnes de matière organique se dégagent et s'accumulent sous forme d'ordures, de restes, de masses fécales, de litière (mélange de fumier et de paille), d'eaux usées, etc. Lors d'une fermentation naturelle, ces substrats

sont à l'origine de milliers de mètres cubes de méthane, qui est un gaz « à effet de serre » et représente de 3 à 5% de la quantité totale de toutes les émissions de gaz à effet de serre.

Cela représente environ 18% de l'augmentation de l'effet de serre. Donc, la construction incontrôlée de dépôts de déchets, ainsi que l'utilisation improvisée de la biomasse des résidus de l'agriculture (l'élevage en particulier) et l'industrie de traitement des déchets, représentent un facteur réel de l'augmentation de l'effet de serre. Or, c'est aussi une importante source potentielle d'énergie renouvelable. Les conceptions techniques et technologiques de production organisée de biogaz s'imposent sous trois aspects :

1. Réduction maximale du gaz méthane dans l'atmosphère.
2. Baisse de la part de matière organique usée déposée directement dans l'environnement (sol et sources d'eau).
3. Production d'énergie renouvelable (biogaz) en tant qu'alternative aux ressources énergétiques conventionnelles fossiles.

I.3. Le biogaz – une alternative aux ressources énergétiques fossiles

Par sa composition chimique, le biogaz est, dans une certaine mesure, analogue au gaz naturel. La différence principale est dans la part relative du méthane. Le contenu du méthane CH₄ dans le gaz naturel est d'environ 95 à 97%. Pour le biogaz, la part relative du gaz-méthane s'élève à 50-75%. Ceci définit la propriété calorifique relativement basse du biogaz par rapport à celle du gaz naturel.

La valeur énergétique moyenne du biogaz va de 4,5 à 7,5 kWh/m³ (S. Stanev). Par comparaison, la valeur énergétique du diesel est près de 10 kWh/l, celle du bois de chauffage est de 4,5 kWh/kg, du charbon 8,5 kWh/kg. Voici encore deux autres exemples: 1000 l de biogaz sont équivalents à 0,56 l de mazout (selon Es. Kvalih). A partir d'un kilo de biomasse de déchet (matière sèche) on obtient jusqu'à 1200 l biogaz (en fonction de la composition du substrat et des conditions de fermentation).

L'analyse des caractéristiques énergétiques précitées révèle que la production organisée du biogaz est une alternative des combustibles fossiles conventionnels (fossiles extractibles – charbon, pétrole, gaz naturel) et une possibilité réelle de surmonter le déficit énergétique mondial.



Au cours du processus de constitution du biogaz, le substrat organique subit des changements biochimiques et microbiens importants, suite auxquels sa composition chimique change et se transforme en compost. Après un traitement mécanique convenable (séparation et pressage) le compost contient environ 30-36% de matière sèche. Suite aux processus de minéralisation (70% du substrat d'origine se transforme en minerais) le compost n'a pas d'odeur désagréable, typique pour les résidus organiques et dont la

consistance est similaire à celle des engrais minéraux.

La composition chimique du compost se caractérise par une teneur élevée en éléments biogènes chimiques principaux C (carbone), K (potassium), P (phosphore) et N (azote) et par un rapport optimal entre le carbone et l'azote. La balance chimique des masses du substrat au début et à la fin du processus de constitution du biogaz est présentée par la Figure 1 :

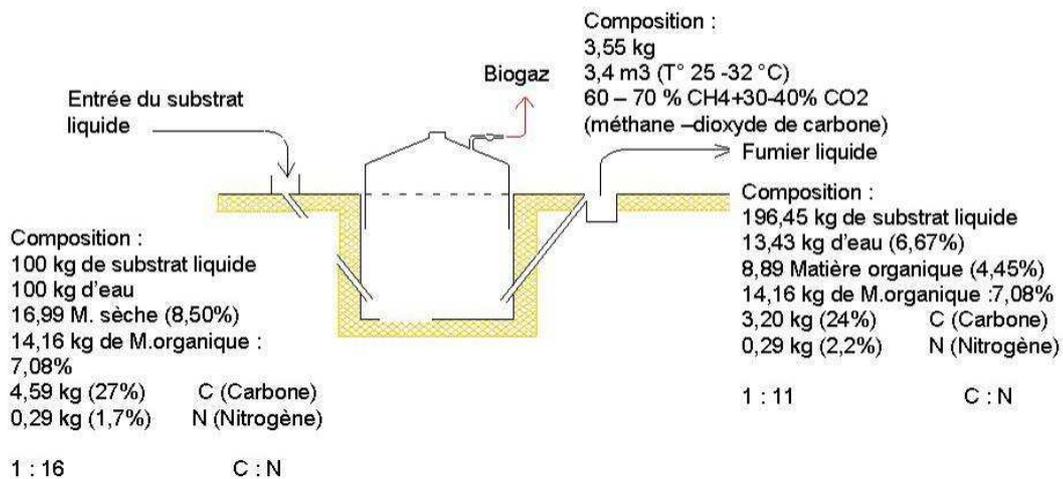


Fig. 1 Balance chimique des masses du substrat au début et à la fin du processus de constitution du biogaz

Le contenu du compost, en éléments chimiques toxiques, autorisé par les normes, est bien au-dessous des doses maximales acceptées. La contamination bactérienne cocci s'élève à 10 par gramme de matière sèche (la norme permet jusqu'à 1000 pour les engrais organiques), tandis qu'il n'y a pas de contamination streptocoque de salmonelle et fécale.

Après une période technologique d'environ 3-4 semaines, le compost est utilisé comme fertilisant y compris dans les terrains destinés à des cultures écologiques.

II. Matières premières pour la production de biogaz

La matière première de départ pour la production de biogaz s'appelle **biomasse**.

Le terme biomasse réunit toutes les substances organiques d'origine végétale et animale. La base chimique de la biomasse est constituée par des composés au carbone, elle est similaire aux combustibles conventionnels

naturels, mais à la différence de ces derniers, la biomasse se renouvelle sans cesse suite à la photosynthèse, à l'activité des organismes vivants et à certains facteurs antropogénétiques.

Sur la Terre, tous les ans, suite à la photosynthèse, 120 milliards de tonnes de matière sèche organique se créent, laquelle par son potentiel énergétique égale à 40 milliards de tonnes de pétrole. La biomasse est obtenue suite à l'activité humaine de production et concerne l'usage des déchets dans les industries agricoles, forestières, alimentaires, de production de bois, l'industrie de bois, par les entreprises ainsi que les efforts de protection de l'environnement.

La biomasse se divise en biomasse première – les microorganismes, les plantes, etc. et en secondaire – les déchets suite à l'activité de l'homme et des animaux, ainsi que lors du traitement de la biomasse première. Les résidus biologiques de l'élevage des bestiaux, de la culture des plantes, de la moelle d'arbre, les déchets, etc. possèdent un pouvoir énergétique important. On peut l'illustrer par l'exemple suivant : 5-7 kg de biomasses résiduelles végétales ou de bois sont



nécessaires pour la production de 1 kWh d'énergie électrique et de 1,3 H d'énergie thermique selon la méthode co-générique (production commune d'énergie électrique et thermique).

II.1. Types de biomasse

Comme nous l'avons déjà souligné, la biomasse se divise en biomasse première – les microorganismes, les plantes etc., et la biomasse secondaire – les déchets suite à l'activité de l'homme et des animaux. Alors, nous pouvons classer la biomasse en groupes comme il suit :

1. Biomasse entièrement cultivée :

- espèces de bois énergétiques (espèces de bois à croissance intensive)
- cultures énergétiques (maïs, colza, etc.)
- graminées
- cultures oléagineuses
- autres

2. Résidus végétaux lors du traitement primaire, agricole, et l'entretien de l'environnement :

- paille
- tiges de maïs
- tiges de tournesols
- sarments
- branches d'arbre fruitier
- tiges de tabac
- paille différente
- chanvre
- résidus de pâturages et prairies

- résidus lors d'une liquidation de broussailles et entretien des champs et terrains plantés d'herbe

3. Résidus de l'élevage des bestiaux:

- excréments et litière lors de l'élevage bovin et d'oiseaux
- résidus fourragers
- résidus de production d'accompagnement
- autres

4. Déchets organiques communaux des lieux:

- précipités des eaux usées
- résidus organiques des déchets durs communaux
- autres

5. Déchets organiques de la production alimentaire et industrielle:

- résidus du traitement et dépôt de la récolte
- déchets des fabriques de conserves et d'alcool
- déchets de l'œnologie et des brasseries

6. Déchets forestiers (masse de bois):

- masse de bois lors d'un espacement des forêts (tuerie sanitaire)
- branches, écorce, feuilles, etc.
- déchets de l'industrie du bois (copeaux, planure, tranches de manipulation)
- autres.

Voir le tableau 1 (d'après St. Stanev), la caractéristique énergétique de quelques unes des bio ressources principales de production de biogaz ainsi que les principales caractéristiques des matières premières de production de biogaz (pour 1 t de matière première) (d'après St. Stanev)

Matière première	Matière sèche totale (MS) %	MS Matière sèche organique %	Productivité gaz l/kg de Matière sèche MS	Biogaz m ³
Purin liquide de bestiaux	10	81	400	32,4
Fumier frais de bestiaux à litière de paille	22	83	420	76,7
Fumier de cochon	7	81	450	25,5
Fumier frais de brebis	27	80	750	162,0
Fumier frais d'oiseaux	15	77	654	53,7
Fumier de chevaux	28	25	580	40,6
Pâte à bière	25	66	700	115,5
Pâte à pomme	3	95	500	14,2
Résidu de pomme	25	86	700	150,5
***Résidus d'herbe verte	15	76	450	51,3
Masse verte coupée	42	90	780	294,8
Tiges de pommes de terre	25	79	840	165,9
Résidus de raisin et de fruits	45	93	670	280,4
Feuilles et tiges de maïs	86	72	900	557,3
Paille d'orge	85	85	500	361,2

*** : la moyenne pour toutes les espèces de résidus végétaux, liés à la production de fleurs, à l'arboriculture et à la production sous serre.



Le tableau 2 suivant présente la productivité moyenne de gaz des résidus organiques les plus répandus de l'industrie agro-alimentaire.

Type de résidu	Productivité moyenne de gaz m ³ /kg .MS
- restes d'abattoir	0,34 - 0,71
- restes du traitement du poisson	~ 0,5
- résidus de l'industrie alimentaire et fourragère	0,32 - 0,8
- précipités frais des eaux usées	0,39 – 0,41
- résidus du traitement des herbes médicinales	0,2 – 0,75
- déchets de l'industrie de papier et de carton	0,2 - 0,3
- déchets des fermes	0,4 - 0,58
- graisses biologiques	> 0,5
- matériaux traitables d'emballage	~ 0,64
- restes d'écrouissage, graisses des grandes cuisines et entreprises gastronomiques	0,7-1,3

Remarques sur les tableaux 1 et 2 :

MS : Matière sèche totale en %.

MS : Matière sèche organique en % de la quantité de la MS totale

II.2. A propos de certains problèmes liés à la biomasse

Les résidus précités ne sont pas tous très intéressants en terme de ressources de biogaz. Certains, comme les tiges de maïs et de tournesols, les sarments, les feuilles, les broussailles, etc. qui possèdent un degré élevé de lignite sont d'une productivité insignifiante en méthane, prolongent la période de fermentation et baissent le pouvoir calorifique du biogaz obtenu. Donc, leur utilisation n'est possible qu'après une analyse technologique et économique précise.

L'utilisation des céréales et de la paille en tant que ressources de production de biogaz peut également créer certains problèmes. Car la matière sèche dans ces matières dépasse 80%, après avoir été coupés ou émiettés selon la technologie, il faut les diluer avec de l'eau ou d'autres déchets liquides. Cela alourdit technologiquement la préparation de la biomasse de départ et présuppose des dépenses complémentaires.

Les problèmes des matières résiduelles de l'industrie alimentaire (restes d'abattoir et de laiteries) et des déchets vont dans deux directions :

Premièrement, le contenu des protéines est très élevé chez la plupart des ressources résiduelles mentionnées. Tout au long de la fermentation, cela présuppose une constitution de H₂S (hydrogène sulfuré). Lors de ces circonstances, le biogaz obtenu doit subir une purification sulfureuse complémentaire à un certain degré et à des concentrations,

inférieures aux valeurs prévues par les normes. L'équipement technique de purification sulfureuse exige des investissements de départ complémentaires et un contrôle permanent de la composition et de la qualité du biogaz obtenu.

Deuxièmement, il faut découper les matières premières en petits fragments de 5-6 mm lors de l'utilisation des produits résiduels d'abattoir ou ménagers. La masse coupée est soumise à une pasteurisation d'environ 70°C au cours de 1-1,5h. La durée du processus peut être diminuée, pourtant cela exige une source de chaleur potentielle plus élevée (la pasteurisation s'effectue au-dessus de 80°C). Donc, en train de monter des projets de création de fermes de biogaz, comptant sur ce type de ressources, il faut tenir compte des investissements supplémentaires d'équipement de pasteurisation, de ligne de transport, ainsi que de « retour » d'une partie de l'énergie obtenue de biogaz sous forme de chaleur indispensable au régime thermique du vase de pasteurisation.

Un certain nombre de problèmes, liés à l'utilisation des eaux usées, se posent. Ce type de ressource contient très peu de matière sèche organique, 2-3% environ. Ainsi, lors d'une fermentation « autonome » de biomasse, la productivité de gaz est assez basse, ce qui la rend chère et prive de sens économique son usage. Afin de surmonter cette contrainte, il faut que les eaux usées soient combinées à un autre type de biomasse de manière à ce que la concentration de matière sèche organique



dans le substrat combiné soit d'environ 10-12%.

II.3. Quel type de biomasse possède le plus haut potentiel énergétique ?

Le maïs fait preuve des meilleures productions de biogaz parmi le groupe de biomasse cultivée. Afin de réaliser son potentiel maximal, il faut récolter le maïs dans sa phase de croissance, lors de laquelle la teneur en matière sèche est d'environ 30%. Il est nécessaire de diminuer au maximum la durée technologique de la masse verte entre sa récolte et sa mise dans le digesteur.

Les masses fraîches de fumier d'élevage de cochons et des bestiaux possèdent un pouvoir énergétique très élevé. Pour extraire le maximum de production de biogaz, la masse de fumier doit très vite passer dans les digesteurs de fermentation. Tout retard mène à la fermentation anaérobie naturelle, ce qui fait diminuer par la suite la productivité de gaz.

II.4. Processus biochimiques et microbiens s'effectuant dans la biomasse

Le processus de constitution de biogaz prévoit plusieurs processus biochimiques dans le substrat, à la base d'une symbiose assez complexe entre les différents microorganismes. Les bactéries, qui créent le méthane sont sensibles à l'oxygène. Leur activité vitale commence lorsque les bactéries aérobies ont consommé l'oxygène dans le milieu nutritif et sa teneur a baissé au-dessous de 2%.

Trois étapes encadrent la fermentation du méthane :

- Lors de la première étape, les composés de masse moléculaire élevée (carbones, graisses, protéines) se décomposent en éléments organiques de masse moléculaire plus basse, par hydrolyse biochimique.
- Au cours de la deuxième étape, avec la participation de bactéries formant des acides et une bio hydrolyse continue, des acides organiques se forment, ainsi que leurs sels, alcool, CO_2 (acide carbonique) et H_2 (hydrogène libre). Ces acides organiques sont un milieu nutritif d'évolution de la microflore méthanogène.
- Une transformation bactérienne définitive des substances organiques en méthane (CH_4) et en dioxyde de carbone (CO_2) s'effectue lors de la troisième étape. A cette étape une quantité importante d'hydrogène libre (H_2) s'échappe également. Sous l'action d'un groupe de micro-organismes anaérobie facultatifs, l'hydrogène et le dioxyde de carbone libéré s'avèrent une source complémentaire pour la constitution de méthane.

En général, les réactions des trois étapes se déroulent en même temps, mais les bactéries de méthane ont des exigences beaucoup plus élevées envers les conditions du milieu par rapport à celles qui permettent la production d'acides. Par exemple, les bactéries méthanogènes nécessitent des conditions strictement anaérobies et beaucoup plus de temps pour leur reproduction.

Le processus de constitution de biogaz se déroule en trois étapes. On peut décrire le principe à l'aide du schéma suivant :



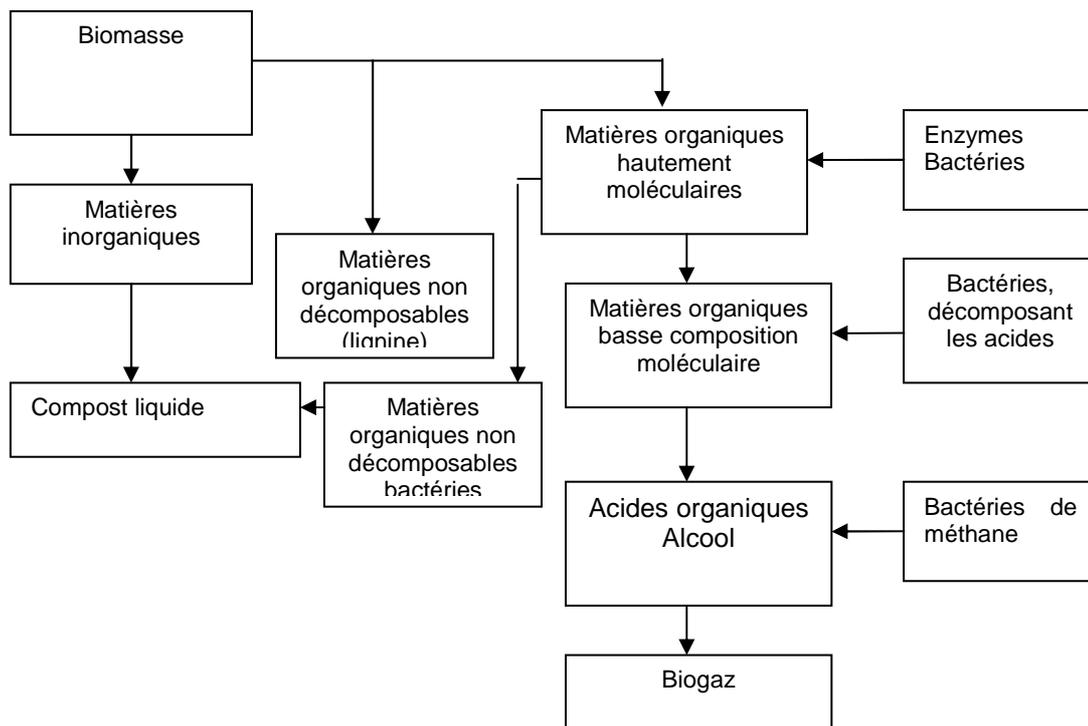


Fig.2. Schéma général des étapes de constitution du biogaz.

La vitesse et les proportions de la fermentation anaérobie de méthane dépendent de l'activité métabolite des bactéries composantes du méthane. Afin d'augmenter la part relative du méthane dans le biogaz dégagé, il faut se conformer à l'influence de nombreux facteurs sur les processus biochimiques dans le substrat.

III. Facteurs de la méthanisation

III.1. Présence d'oxygène (O₂)

Actuellement, on connaît environ 10 espèces différentes de cocci et de bactéries de méthane qui sont strictement anaérobies. Si dans le substrat, la teneur en oxygène est au-dessus de 2%, il doit être dépensé par les bactéries anaérobies, propres à chaque espèce de biomasse. Ce qui se fait dans la première phase du processus de méthanisation. Des quantités insignifiantes d'oxygène, obtenues lors d'une évacuation de soufre, ne sont pas nuisibles.

III.2. Humidité du substrat

Les bactéries de méthane ne peuvent exister et se multiplier que lorsque le substrat a 50% au minimum d'humidité. L'humidité au-dessus de 94-95% présuppose une basse efficacité de la constitution du méthane.

Les résultats des pratiques précédentes prouvent qu'à 2% de matière sèche, le « traitement de méthanisation » pour produire de biogaz, n'est pas rentable. La teneur en matière sèche entre 8 à 12% est considérée optimale et garantit une haute qualité (méthanisation) du biogaz fabriqué. A 12-16% de matière sèche, le substrat peut réaliser une production maximale de gaz, mais dans ce cas-là un contrôle précis est souhaitable ainsi qu'un réglage du nombre et le rapport des bactéries. La méthode liquide de production de biogaz n'est pas applicable aux substrats dont la teneur en matière sèche est supérieure à 20%, tandis que les méthodes sèche et humide exigent un équipement de capacité beaucoup plus grande.



III.3. Protection contre la lumière

La lumière n'est pas un facteur bactéricide pour les bactéries de méthane, pourtant elle fait diminuer leur métabolisme.

Technologiquement, la protection contre la lumière est facile à réaliser et n'exige pas de contrôle complémentaire.

III.4. Conditions de température

L'activité microbiologique des bactéries de méthane disparaît à des températures inférieures à 15°C. En général, on conçoit la zone de « travail » dans l'intervalle de 0-70°C. Dans l'installation de biogaz de recherche « Sirvintone » en Lituanie, on a constaté une certaine quantité de gaz même à 0°C du fumier frais liquide. A des températures au-dessus de 70°C (à l'exception de quelques-unes des cultures de micro-organismes de méthane, qui tiennent jusqu'à 90°C) les bactéries de méthane meurent.

Trois zones typiques de température se sont établies dans la pratique, dans lesquelles les cultures de microorganismes correspondantes manifestent le métabolisme le plus élevé :

- zone psychrophile – des cultures de microorganismes qui évoluent au-dessous de 20°C.
- zone mésophile – des cultures de microorganismes, qui évoluent entre 25 et 30°C.
- zone thermophile – des cultures de microorganismes, qui évoluent au-dessus de 40°C.

En règle générale, plus la température est élevée, plus le processus de décomposition est intensif, plus le gaz dégagé est important, la durée de fermentation diminue, mais la teneur relative en méthane dans le biogaz décline nettement (au profit de la part du dioxyde de carbone). De plus, sous un régime à hautes températures, les bactéries sont très sensibles à des variations thermiques bien que de courte durée. Par exemple, dans la zone mésophile, des variations journalières de 2 à 3°C n'influencent presque pas le métabolisme bactérien, tandis que dans la zone thermophile, des variations journalières supérieures à 1°C sont inadmissibles.



Actuellement, la plupart des installations de biogaz fonctionnent au régime thermique entre 30 et 35°C.

On observe une tendance de baisse de la température entre 20-25°C dans les appareillages de collecte, pour économiser la chaleur technologique. Au contraire, dans des lieux de co-génération on observe la tendance à la hausse du régime thermique au-dessus de 40°C en fonction des liens plus grands de puissance énergétiques de ces installations. L'influence des zones thermiques sur le rendement de biogaz, voir figure 3 :

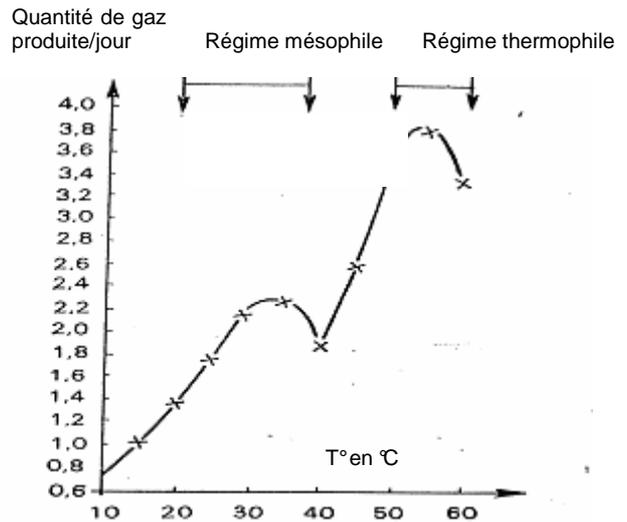


Figure 3 Influence de la température sur la production de biogaz

La courbe rend visible un changement de température relativement faible, indispensable à une activité vitale optimale des différentes cultures de microorganismes.

Le régime thermique de la fermentation influence directement sa durée et de là il détermine certains paramètres technologiques. Pour des méthodes de fonctionnement à température plus basse, le volume des réservoirs doit être plus grand car le temps passé par le substrat dans le digesteur augmente. Lors d'un mode de fonctionnement à température plus élevée, le volume des réservoirs doit diminuer.

La courbe de production de méthane en appliquant la méthode mésophile et thermophile est présentée par la figure 4.

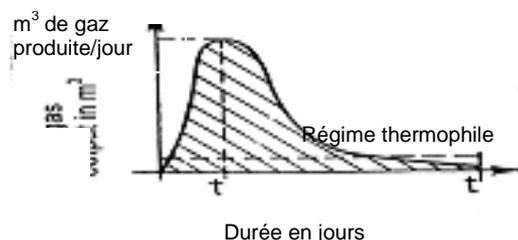


Fig.4 Dynamisme de la constitution du gaz au régime mésophile et thermophile

La méthode mésophile se distingue par une certaine égalité dans le temps, tandis que la méthode thermophile suppose une accélération positive rapide du métabolisme des bactéries, suivie par un changement négatif d'intensité pareille.

Les limites thermiques optimales et la durée correspondante de décomposition du substrat sont illustrées par la figure 5.

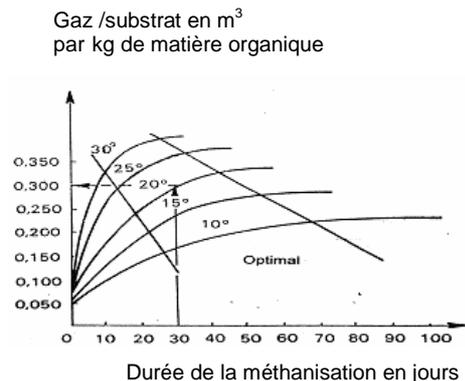


Fig.5 Limites thermiques maximales de la méthanisation

A l'optimisation sont fixés la production de biogaz, les investissements et les dépenses de construction. Les calculs sont à base des conditions économiques et climatiques de l'Europe Centrale et Occidentale.

III.5. pH du milieu et degré de charge du digesteur

L'influence du pH du milieu sur la méthanisation est illustrée par les courbes, voir figure 6 :

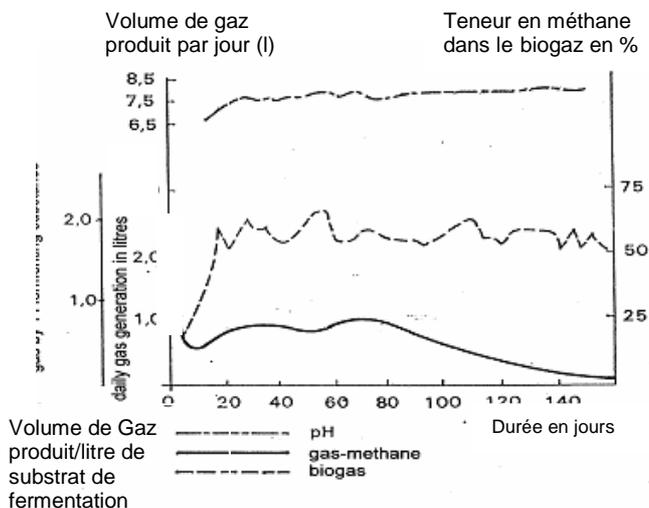


Fig.6 Processus de production de biogaz

La valeur de pH doit correspondre à un milieu alcalin faible – environ 7,5. Chez les engrais liquides et le fumier ordinaire, cette valeur est établie dans la deuxième phase de fermentation.

Chez des substrats aigres comme les résidus de raisin, le petit lait et les fourrages ensilés, un composé alcalin serait indispensable à ajouter.

La réaction chimique du milieu (pH) est liée indirectement au régime de fonctionnement des digesteurs ainsi qu'au rapport entre la quantité de masse organique et la concentration de la microflore de méthanisation. La quantité démesurée ainsi qu'insuffisante de la substance organique, peut changer la courbe de la production attendue. Ceci est dû à la règle micro biologique selon laquelle la décomposition des substances organiques se déroule d'une manière harmonique. Au cas où une culture de bactérie manifeste une prépondérance, l'équilibre dans le processus de production est détérioré.

Le problème rencontré le plus souvent consiste en la quantité insuffisante de substance organique dans les réservoirs de fermentation. Dans ce cas-là, les bactéries, qui décomposent les acides organiques ont une prépondérance et le pH du substrat baisse considérablement. Donc, cette règle doit être attentivement « mesurée » au niveau du projet afin de ne pas admettre, sans fondements, des digesteurs de grands volumes.

Le degré de charge du digesteur avec du substrat influence encore la production du gaz. Cette influence est décrite par la figure 7. :

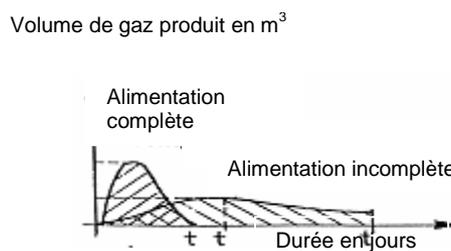


Fig.7. Influence du degré de charge du digesteur sur la production de gaz

La charge complète du digesteur détermine la constitution intensive du biogaz. L'insuffisance du substrat dans le réservoir fait baisser la production spécifique journalière moyenne tandis que la durée de fermentation augmente.

III.6. Fourniture de produits alimentaires

Les bactéries de méthane ne peuvent pas décomposer directement les graisses, les blancs d'œuf, les hydrates de carbone et la cellulose en état pur. Ces derniers ont besoin de composés d'azote solubles, qui fournissent du matériel pour leur substance cellulaire. Afin d'obtenir un rendement optimal, le rapport entre le carbone et l'azote est d'une grande importance. Au niveau pratique, il est conseillé le rapport C:N, proche à 10÷15.

III.7. Traitement mécanique et surface du substrat

Les substances organiques insolubles dans l'eau doivent être soit précisément distribuées (par exemple après l'ajout de graisses, qu'elles soient bien émulsionnées) soit structurées de manière (par exemple la cellulose), qu'on obtienne un milieu de contact et de réaction important. Les matières comme la paille, l'herbe longue ou d'autres résidus biologiques, doivent être coupées (5-10 mm conseillés) et leur structure velue détruite, si possible. La négligence de ces règles mène à une prolongation de la durée de fermentation, à l'obstruction de la surface libre de l'eau, aux problèmes mécaniques de pompage et de mélange du substrat.

III.8. Déposition régulière du substrat

Afin d'éviter un chargement superflu de la zone d'alimentation du digesteur, une alimentation régulière à des intervalles courtes est vivement conseillée, par exemple, une ou deux fois par jour. Ceci est important tant pour la substance principale que (même plus important) pour des ajouts concentrés, par exemple, les graisses. L'alimentation rythmique des digesteurs empêche la baisse imprévue de la température du substrat dans la zone d'alimentation.

III.9. Dégazage du substrat

Des effets de fermentation considérables des bactéries de méthane ne sont accessibles que si le biogaz est sans cesse conduit du substrat. Si le gaz n'est pas éliminé du volume de fermentation, il est probable qu'une pression

de gaz inadmissible advient et, à certaines conditions, des pannes et des avaries de caractère différent, sont possibles.

Plusieurs boules de gaz apparaissent dans les substrats légèrement liquides, qui peuvent provoquer une riche écume du substrat. Chez les résidus agricoles riches en matière sèche (au-dessus de 5%) il faut effectuer un dégazage complémentaire au profit de mélange de substrat à plusieurs reprises.

IV. Création, développement et distribution des installations de biogaz

La première installation de méthanisation dans le monde est mise en exploitation en 1856 à Mantunga, près de Bombée. En 1939 à l'Institut scientifique de recherches agricoles en Inde on commence des recherches à l'aide de l'Etat. Aujourd'hui, la majorité des installations de biogaz là-bas est construite et exploitée par la société « Kadi Village Industries Commission » (KVIC) avec des dotations d'Etat.

En France et en Algérie, autour de 1930 on commence à construire des installations de biogaz à base du brevet d'invention des Français Ducellier et Izmane. Toujours pendant cette même période, le Français Imhoff crée l'installation de production continue de biogaz à la base des eaux soutirées. Par la suite, cette création est perfectionnée en tant que système industriel de production de biogaz de type Schmidt-Egersgluss. Ce dernier est connu dans la littérature et dans la pratique sous le nom de « Bihugaz ».

En général, l'information sur les installations de méthanisation construites en Europe avant la Seconde Guerre mondiale est contradictoire et non exacte. Pourtant, il y a des renseignements précis selon lesquels des installations pareilles ont fonctionné d'abord en France, en Allemagne, en Suisse et en Autriche. L'aspiration était de faire tous les purificateurs des eaux usées produire de biogaz. Conformément à ces mêmes renseignements, le nombre des installations de production de biogaz, qui traitaient les déchets communaux humides et les résidus agricoles en Europe et en Amérique du Nord, était environ 2000.



Après la Seconde Guerre mondiale, la conjoncture du marché énergétique et les prix bas du pétrole font diminuer l'intérêt porté au biogaz en Europe. La méthode continue son évolution surtout en Inde, Chine, Corée et dans quelques-uns des pays en développement.

Le problème de traitement des déchets et de la production d'énergie surgit pour la seconde fois en 1976-1977, la période de renchérissement drastique du pétrole. Ainsi, uniquement aux Etats-Unis en 1980, 18 méthodes de production de biogaz ont-elles été brevetées. Au cours des 1981-1982, l'Académie royale en Angleterre, la Chambre Agricole en Autriche et l'Institut de contrôle de qualité en Allemagne, s'engagèrent avec la collecte, le traitement et l'estimation des investissements dans des installations de biogaz. En cette époque au Danemark (Farm Gadegaard) sous forme d'attraction touristique, a été organisée la visite d'une installation de méthanisation contre 10 couronnes danoises par visiteur.

En Suisse, l'Institut de recherches scientifiques d'économie et de mécanisation de l'agriculture (Tenicon) gère les tests pratiques des installations de biogaz auprès des Fonds Internationaux de Recherches Energétiques (NEEF), bâties pour l'enseignement national secondaire et supérieur.

A partir de 1981 le Bureau européen régional près FAO a confié en France la coordination et l'évaluation des recherches européennes sur les problèmes de biogaz.

Actuellement, en Allemagne, sur des renseignements approximatifs il y a 1000 installations de biogaz, en Autriche, elles sont 200, en Suisse - 100, en Corée - 30 000, en Inde - 500 000, en Chine, elles sont environ 7 millions.

Ces dernières années, les technologies de biogaz se développent au rythme le plus accéléré en Allemagne. Dans chaque province les installations de biogaz sont enregistrées dans des inventaires spéciaux. Il y a une Union Professionnelle de biogaz. D'après les pronostics optimistes de celle-ci, dans les dix années suivantes, il y a des ressources et des capacités de construction d'environ 22 000 installations, en engageant des agriculteurs, des consultants, des bureaux d'ingénieur, des producteurs et des services d'autorisation.

IV.1. Schéma général d'une installation de biogaz de substrats liquides

La figure 8 représente un schéma général d'une installation de biogaz au digesteur vertical et une variante réalisée d'utilisation complète de biogaz.

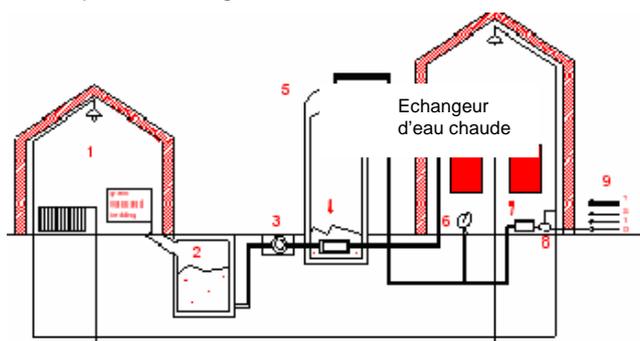


Fig.8 Schéma d'installation de biogaz au digesteur vertical

Légende :

1. Etable avec des bestiaux.
- 2 Puits d'accueil.
- 3 Pompe.
- 4 Digesteur.
- 5 Biogaz.
- 6 Chauffage de l'eau.
- 7 Moteur à combustion interne.
- 8 Générateur d'électricité.
- 9 Passage vers le consommateur.

Les déchets organiques pénètrent dans le puits d'accueil 1. L'homogénéisation préalable de la masse s'effectue par la pompe 2. La même pompe conduit le substrat dans le digesteur 3. Celui-ci est projeté et réalisé de manière à assurer les conditions nécessaires de création et déroulement de la fermentation de méthane de la biomasse déposée. Le biogaz obtenu est conduit vers un brûleur, monté sur un chaudron 5 pour chauffer l'eau. Une autre partie du biogaz est conduite vers un moteur à gaz qui met en mouvement un générateur d'électricité 7. L'énergie produite est conduite au réseau électrique 8.

La figure 9 représente une installation générale avec un digesteur horizontal :



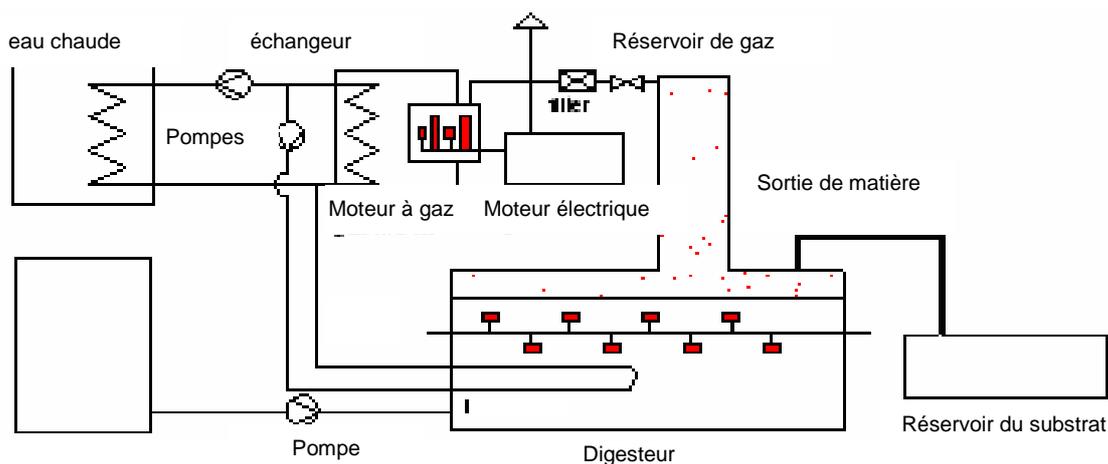


Fig.9. Schéma d'une installation de méthanisation au digesteur horizontal

Au départ, le résidu frais subit une préparation préalable (coupe, homogénéisation, dilution, chauffage). A l'aide d'une pompe de liquides denses, la matière est conduite vers le digesteur. Un mélangeur y entretient l'homogénéité de la masse en fermentation. Dans le digesteur il y a une serpentine (échangeur thermique) pour entretenir le régime thermique, conformément au régime programmé (mésophile ou thermophile). Par un mécanisme, le matériel traité (culture de microorganismes) pénètre dans un dépôt de fumier. Le gaz collecté dans le réservoir à gaz traverse le système de purification et de filtrage, de désulfuration éventuellement et de là il passe au moteur à gaz. Celui-ci met en mouvement le générateur d'électricité qui produit de l'énergie électrique.

L'eau chaude du système de réfrigération du moteur (à température environ 90°) passe par l'échangeur calorifique de type eau – eau ou bien éthylène glycol eau. L'énergie thermique de « l'eau de réfrigération » par l'échangeur calorifique réchauffe l'eau qui est utilisée pour entretenir le régime thermique dans l'accueil du digesteur, tandis que le reste est dédié à réchauffer des maisons, des ateliers ou bien à des fins industriels.

Les schémas des figures 8 et 9 sont des schémas généraux et ne présentent pas les détails techniques et technologiques ni les paramètres de fonctionnement des installations de méthanisation.

V. Equipements techniques de l'installation de biogaz

V.1. Assurer les processus technologiques.

V.1.1. Préparation et conservation du substrat

Les conceptions de production de biogaz dans des installations contemporaines, sont rarement établies uniquement à base des « résidus de production propre ». Afin d'avoir un rendement plus performant, on importe des substances complémentaires – des co-ferments. Dans la majorité des cas, ce sont des substrats fournis par des « fournisseurs extérieurs » à des périodes déterminées. Cela impose la construction de silos de transport, d'admission et de dépôt temporaire de la biomasse (fig.10).



Fig. 10. Silo de transport près l'installation de biogaz

La conservation du substrat se fait surtout en plein air dans les installations de biogaz agricoles. Conformément aux normes de protection de l'environnement et à la baisse maximale des odeurs, autour des dépôts d'accueil on construit de différentes sortes d'accessoires comme puits, magasins, etc. Ils sont bâtis de sorte qu'ils assurent une certaine

« purification » du substrat dans le but de chasser des corps durs en métal, des pierres, etc. ayant pénétré accidentellement. La pénétration en masse de composés liquides co-ferments impose la construction des plateaux fermés et des réservoirs de réchauffage. (fig.11)



Fig. 11. Dépôt de co-ferments

V.1.2. Fractionnement et dilatation de la biomasse

La garantie d'un bon milieu vital et de fermentation des bactéries de méthane nécessite une destruction de la biomasse fournie au digesteur – un processus de désintégration.

D'après le type du substrat de départ et certains critères d'investissement, on applique dans la pratique 4 types de désintégration.



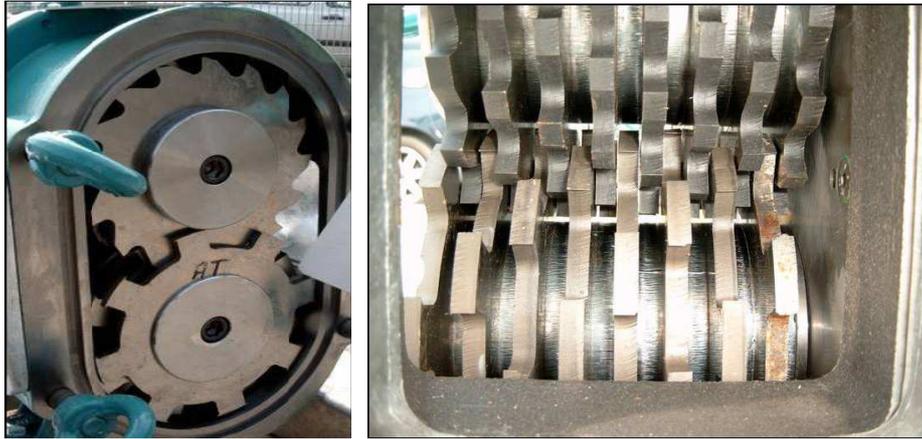


Fig.12. Concasseur mécanique

1. Fractionnement mécanique (mouture et dilatation)

C'est la méthode appliquée le plus souvent aux ressources végétales et aux co-ferments en vrac.

Utilisant un concasseur mécanique (fig.12) ou bien un broyeur à grain on arrive à morceler le matériel et à augmenter sa surface de contact pour les étapes suivantes du processus.

2. Dissolution thermique.

Cette méthode de désintégration est recommandée pour les substrats de départ, qui nécessitent une pasteurisation (résidus des abattoirs, résidus de l'industrie alimentaire, etc.).

Dernièrement, on expérimente une variété de la dissolution thermique – hydrolyse à pression thermique. Chez cette variante le substrat est soumis à une pression de 40 barres et à 160° jusqu'à 200°C de température au cours de 60 min. A ces effets 70% des substances organiques sont dissoutes – "bouillon alimentaire" pour les bactéries de méthane. L'utilisation de cette méthode exige la construction d'autoclave – (fig.13), correspondant au régime de surveillance des installations, qui fonctionnent à une pression de plus de 20 barre et température au-dessus de 110°C. Le traitement thermique raccourcit considérablement le temps passé dans le digesteur, ce qui augmente aussi la capacité de l'installation.



Fig.13. Autoclave de traitement thermique à haute pression.



3. Dissolution chimique

Cette méthode n'est pas très connue parmi les installations de biogaz agricoles. Elle devient actuelle lorsque pour obtenir une composition optimale entre le carbone et l'azote (C/N), on ajoute la paille en tant que co-ferment. Dans ce cas, il est conseillé d'utiliser une solution d'hydroxyde de soude (NaOH) dont l'objectif est l'hydrolyse de la cellulose, autrement insoluble.

4. Dissolution physique

C'est une méthode d'innovation dans le domaine du biogaz, fondé à la base d'ultrason. Dans la zone de fréquence au-dessus de 20kHz lors du traitement par ultrason des médiums liquides s'effectue l'effet de cavitation – apparition courte et désintégration rapide des bulles de vapeurs d'eau. A cet effet on observe de hautes valeurs de pression superficielle et de température sur les particules séparées du substrat, ce qui détruit finalement et dissout la biomasse. Actuellement, on fait des tests sur des méthodes d'irradiation électronique à longueur différente des ondes.

V.2. Technique de fourniture du substrat

L'utilisation d'engrais liquide et des co-ferments végétaux dans la production de biogaz, impose la construction de dispositifs et l'usage d'outils techniques pour introduire de manière adéquate le substrat dans le digesteur. On connaît deux systèmes en fonction de la construction adoptée et de la technique appliquée d'alimentation du digesteur.

V.2.1. Système hydraulique d'alimentation

La solution constructive est basée sur le creusage d'un fossé dont la capacité d'emmagasinage du substrat est de un à trois jours au maximum. Le fumier est introduit dans le fossé par gravitation à travers d'un plateau ou bien à l'aide d'une pompe il est transféré de l'étable de liquides denses.

Le fossé est souvent en béton (fig.14).



Fig.14. Puits accueil.

Afin de diminuer l'odeur, il est bien de prévoir une toiture du fossé. A part sa fonction de dépôt, le fossé résout avec succès des problèmes liés à l'homogénéisation et le morcellement du substrat, assure de bonnes

conditions pour les pompes, crée des conditions de précipitations et de séparation des substances lourdes ayant accidentellement pénétrées.



L'équipement des pompes qu'on utilise dans le système hydraulique d'alimentation est le plus souvent poly fonctionnel. Les pompes sont fabriquées de

la manière, qu'à part le transport, elles assurent le morcellement et le mélange du substrat (fig.15)



Fig.15. Pompe rotative avec "Bio machine à couper"

V.2.2. Systèmes mécaniques d'alimentation

L'élément de base du système mécanique est une sorte de transporteur mis en mouvement par un moteur électrique. En rapport avec la construction de l'organe travailleur, avec le principe de déplacement du substrat, avec la

capacité et le dosage, les transporteurs mécaniques sont de types suivants :

- Transporteur de vis à l'entonnoir (fig.16), Transporteur de vis à l'état vertical et horizontal



Fig.16. Transporteur de vis à l'entonnoir

Cette technique est convenable pour les petites installations de biogaz. L'entonnoir sert à accueillir le substrat de l'avant chargeur. Il n'est pas prévu d'être utilisé en tant que réservoir de biomasse.

Le transporteur de vis a le plus souvent un diamètre de 500 mm, il est mis en mouvement par un réducteur planétaire et un moteur électrique d'environ 4kW de puissance.



- Mélangeur de fourrages

Le mélangeur de fourrages est une espèce de transporteur de vis, dont la conception

technique et le mode de mélange dans le digesteur sont illustrés sur fig.17.



Fig.17. Mélangeurs de fourrages au transporteur de vis et au transporteur de vis d'alimentation

Ce type de transporteurs est particulièrement bien trouvé pour l'alimentation intensive en substrats durs. A part le mélange, la construction et la commande du transporteur permettent le dosage de la masse. Le processus de dosage est géré par le temps et le poids.

Par rapport au transporteur de vis à l'entonnoir, le mélangeur de fourrages consomme plus d'énergie. Les dépenses

d'énergie (surtout au départ) peuvent baisser considérablement par l'usage d'un réorganisateur de fréquence :

- Alimentation mécanique par des transporteurs de presse selon le système «Loup Machine » de substance dure (fig.18).

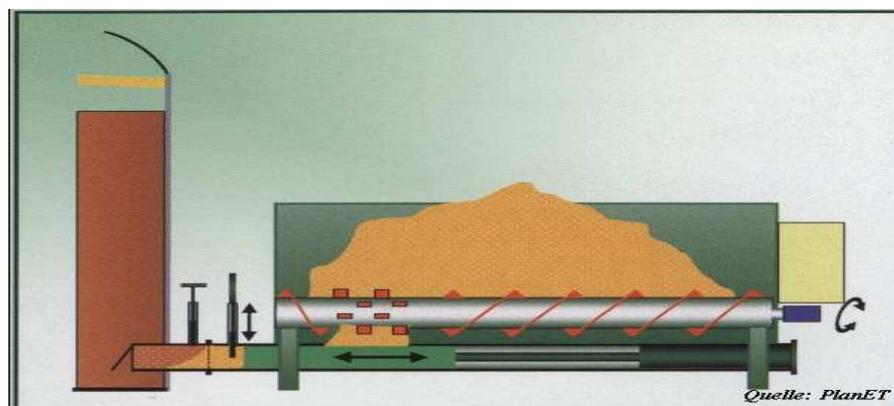


Fig.18 Système «Loup Machine » de substance dure.



Ce système transporte le matériel d'un réservoir de réserves de 13-18 m³ de volume à l'aide de deux transporteurs hydrauliques de vis en mouvement l'un contre l'autre vers un cylindre couché, d'où, la masse est pressée et chassée par un plongeur dans le digesteur. Par rapport aux mélangeurs de fourrages, ce type de transporteurs se distingue d'une basse consommation d'énergie électrique (environ 3 kW).

V.3. Digesteurs des installations de biogaz

Le digesteur est l'élément principal d'une installation de biogaz. C'est dans le digesteur que les processus biochimiques et microbiens de fermentation ont lieu lors desquels le biogaz est constitué.

Afin d'assurer les conditions indispensables de fermentation du substrat, le digesteur doit satisfaire aux exigences suivantes :

- Herméticité vis à vis de gaz et liquide. Qu'elle soit stable dans le temps :
 - protection contre la lumière
 - stabilité thermique
 - stabilité contre la corrosion
 - Apte à assurer le pompage, le mélange et la circulation du substrat.

Les digesteurs sont de différentes espèces en fonction du matériel de construction et du mode de satisfaction aux exigences mentionnées :

1. Digesteur en béton (fig. 19)

C'est la variante de construction la plus répandue. Elle satisfait à toutes les exigences citées. Avec le temps, les fissures fines sur la surface intérieure rodent et la stabilité du béton vis-à-vis du milieu chimique actif diminue



Fig. 19. Digesteur en béton avec isolation.

2. Digesteur en acier précieux (fig.20).

On utilise de l'acier précieux (V₂A, dans la zone de gaz V₄A) ou bien des surfaces plates en acier émaillées. Une attention particulière doit être portée sur le front extérieur du digesteur. Celui-ci doit être isolé par une couche isolante contre l'influence atmosphérique.

Le principal n'est pas le degré de précision des systèmes qui gèrent la dite température, c'est plutôt éviter des variations considérables de la température. De plus, ce système doit garantir le même gradient de température dans toutes les zones du digesteur.





Fig.20. Digesteur en acier précieux en construction.

V.3.1. Système d'entretien de la température dans le digesteur

Ce système a comme objectif d'entretenir la température nécessaire dans le digesteur, sans tenir compte des conditions climatiques et les traitements technologiques du substrat.

1. Système à tuyaux chauffants. Les variantes d'exécution sont :

- Tuyaux chauffants polymères et armature dans le mur du digesteur en béton (fig.21).
- Tuyaux chauffants en acier devant le mur du digesteur (de l'intérieur).

Cette variante exige une très bonne isolation extérieure. Son avantage est qu'elle n'admet pas un collement («brûlure» superficielle) du substrat.

La tuyauterie est montée sur une construction métallique porteuse. Afin de prolonger la vie d'exploitation, les tuyaux chauffants peuvent être fabriqués en acier précieux V₂A. Les tuyaux montés à l'intérieur peuvent causer des restrictions liées au substrat surchauffé en proximité des tuyaux et un dépôt possible d'une « écorce » de biomasse sur leur surface.



Fig.21. Tuyaux chauffants polymères et armature dans le mur du digesteur en

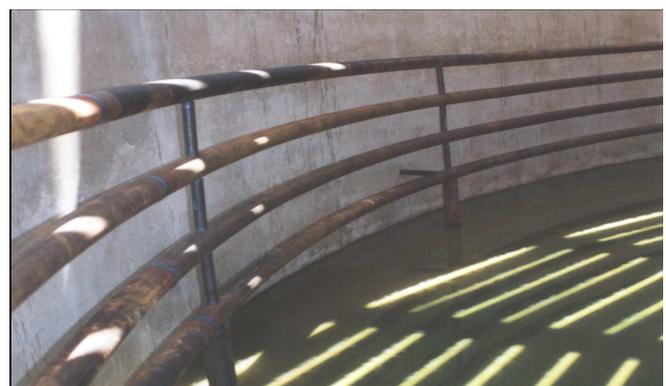


Fig. 22. Tuyaux chauffants en acier.





Fig.23. Echangeur thermique de type "spirale"

2. Système à échangeurs thermiques extérieurs (Fig.23).

Les échangeurs thermiques extérieurs sont accessibles et les surfaces d'échange sont faciles à nettoyer, ce qui est son avantage.

On emploie des échangeurs tuyaux de section et en forme de spirale de type eau-substrat qu régime contre - électricité.

3. Système de chauffage biologique

Une chaleur se dégage lors d'une dégradation anaérobie des matières organiques. Elle peut être utilisée pour augmenter la température du fumier liquide. A cette fin on y fait entrer de l'air chaud. Dans l'installation de biogaz de Nordhausen, 750 m³ de fumier liquide par jour est réchauffé, jusqu'à 33°C dans un digesteur de 400 m³ de volume.

V.3.2.Systèmes de mixage

Les systèmes de mélange entretiennent le substrat en mouvement perpétuel lors de passage et de fermentation dans les enceintes de méthane. De cette manière est conjurée la dislocation thermique de la biomasse, crée suite à des pertes thermiques d'une part et de l'autre part, la surface surchauffée des tuyaux réchauffant.

La matière fraîche est mélangée au fumier actif et en est contaminée par les bactéries de méthane. Le mouvement du substrat crée un équilibre de la teneur en ions d'hydrogène dans tout le volume, ce qui garantit le pH stable dans le digesteur. Les mécanismes de mélange aident une désagrégation complémentaire les précipités et les éléments mécaniques durs flottants à la surface.

Les systèmes de mixage sont de trois types en fonction du principe accepté de mise en mouvement et de mélange du substrat: mécaniques, hydrauliques et à échappement du gaz.

1. Systèmes mécaniques de mélange – ce sont les procédés de mélange les plus populaires. Leur objectif principal est d'assurer un mélange égal du substrat. D'après la spécificité de la biomasse de départ, la géométrie du réservoir et la construction du mécanisme de mélange, l'énergie électrique quotidienne utilisée pour mélanger varie de 10 kWh jusqu'à 100 kWh pour un volume de fermentation de 500-1000 m³.





Fig. 24. Mélangeur en spirale.

Trois conceptions technologiques se sont formées sur l'intensité de mélange et la dépense d'énergie :

- Des mélangeurs mobiles très lents qui tournent avec leurs hélices et épaulés dans toute la chambre de fermentation et

dépensent très peu d'énergie au régime permanent de fonctionnement. A part le mélangeur en spirale, (voir fig.24), le mécanisme mélangeur à ailettes (propulseur) fait partie de cette variante (fig.25).



Fig.25. Mécanisme mélangeur à ailettes

Chez les deux types, le mouvement rotatoire du moteur est transmis par un réducteur, monté à l'extérieur du digesteur. Cette solution offre la possibilité de mélanger des substrats contenant beaucoup de fibres, la matière sèche va jusqu'à 20% et les dépenses d'énergie sont particulièrement basses.

- Mélangeur à vitesse moyenne au régime de fonctionnement permanent ou bien à intervalles et aux dépenses d'électricité moyennes. Cette variante de mélangeur, dite perche à moteur monté à l'extérieur, est présentée sur fig.26.





Fig.26. Mélangeur à moteur monté à l'extérieur, dite perche

Le moteur de ces mélangeurs est situé au bout d'un long axe, sur l'autre bout duquel est monté le propulseur. Un passage mobile dans le mur du réservoir de fermentation fait pencher l'axe dans la bonne position. Des instruments à couper complémentaires peuvent être montés ou bien de petites dents

soudées contre les ailettes afin de couper menu le substrat.

- Mélangeurs rapides de fonctionnement intensif à haute dépense d'énergie, branchés plusieurs fois par jour. Cette variante propose des mélangeurs à moteur électrique plongé dans le substrat (fig.27).



Fig.27. Mélangeur à moteur électrique plongé dans le substrat.

Les ailettes rapides, qui sont liées sans mécanisme d'émission, directement au rotor du moteur, ne doivent pas fonctionner sans pause. Il faut un programmeur de mise en fonctionnement à intervalles de quelques minutes. L'énergie consommée par ces mélangeurs est importante (nombres à deux chiffres kW), leur travail permanent peut mener de grandes dépenses d'électricité.

Une autre particularité de ces mélangeurs représente le régime thermique de fonctionnement du digesteur. Un schéma de mélange à moteur plongé est admissible sous le régime mézophile.

Lors du régime thermophile le moteur électrique peut surchauffer à cause d'enlèvement troublé de chaleur de son corps.



2. Système mélangeur hydraulique
Schéma général du mélangeur hydraulique rotatoire de type (KTS), voir fig.28 :

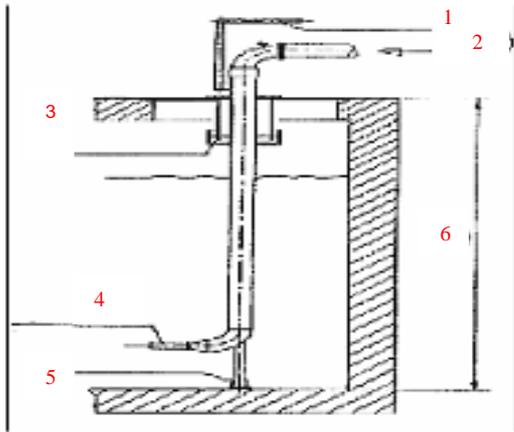


Fig.28. Mélangeur hydraulique rotatoire de type (KTS).

Légende :

1. Levier de mise en marche
1. Fourniture du substrat (entrée)
2. Passage, inaccessible au gaz
3. Buse mélangeuse, auto rotatoire approximativement de 0 à 300°C
4. Roulement principal
5. Mur du digesteur.

La pièce de mise en marche du mécanisme représente une pompe centrale puissante. Elle se met à absorber le substrat et le conduit vers des buses tournantes. Ces dernières le repoussent sous haute pression vers le digesteur. A l'aide d'un bon choix du point d'admission et des points d'injection commandés par des clapets des buses, on peut avoir de bons résultats lors du mélange des fluides rares, qui ne sont pas faciles à disloquer.

3. Mélange du substrat par la pression du biogaz. Cette variante de mélange est présentée sur le schéma suivant, voir figure 29.

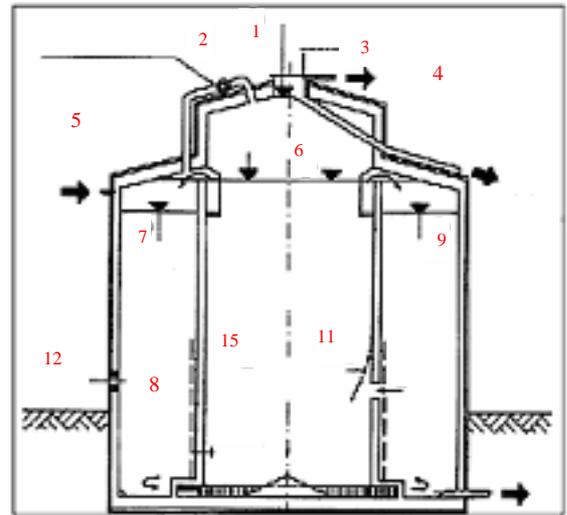


Fig.29. Digesteur qui mélange le substrat par la pression du gaz – système VSP.

Légende :

1. Niveau élevé au maximum
2. Echappement de gaz à réglage automatique (par soupape électrique magnétique)
3. Coupole de gaz
4. Gaz
5. Fourniture du substrat cru
6. Niveau en équilibre
7. Niveau repoussé en bas
8. Fermentation complémentaire
9. Niveau repoussé en bas
10. Ecoulement de la vase de fermentation
11. Chambre principale de fermentation
12. Couvercle de visite
13. Soupape de retour
14. Bloc réchauffant
15. Chambre principale de fermentation.

Le choix de ce système de mixage doit être bien « mesuré » à l'étape de projection, car il exige une stéréométrie du digesteur plus spécifique. La pression du biogaz cueilli dans le réservoir de fermentation sert à pousser le substrat en fermentation, qui passe par un tuyau étroit de connexion dans la chambre de compensation. Après l'ouverture de soupape d'échappement du biogaz sous l'action de la pression hydrostatique, le liquide est renvoyé en arrière pour se mélanger, d'une manière intensive, avec le reste du substrat. L'avantage principal de cette méthode de mixage c'est le manque de pièces mobiles et les économies d'électricité pour sa mise en marche.

Nous devons admettre sa prédisposition au bouchage des conduits de trop plein comme un inconvénient. Donc, les substrats utilisés et le mode de leur préparation doivent garantir le manque de particules dures et de composants peluchés.

V.4. Les pompes

Les pompes sont une partie indispensable de l'équipement des installations de méthanisation agricoles. Leurs fonctions sont liées au transport, au mélange, à l'homogénéisation, parfois au morcellement du substrat. Conformément aux capacités physiques et chimiques du substrat, ainsi qu'à la conception technique et technologique de l'installation en général, plusieurs espèces de pompes sont utilisées.

1. Pompes centrifuges

Elles sont utilisées lorsqu'il faut pomper ou mettre en mouvement de grandes quantités de matériaux liquides à basse viscosité, dont la teneur en matière sèche est inférieure à 8%. Par principe, les pompes centrifuges ne sont pas auto absorbantes ce qui impose qu'elles soient immergées ou bien installées au-dessous du niveau du substrat, pour que le liquide à pomper soit introduit facilement dans la pompe. Lorsque la roue réceptrice de la pompe centrifuge est équipée en couteaux trempés, elle est déterminée en tant que "pompe centrifuge tranchante".

Les pompes centrifuges immergées peuvent être montées de la manière qu'une même pompe puisse servir, au choix, de mélangeage ou de pompage du substrat.

2. Pompes de volume et de rotation

La figure 30 présente une vue générale d'une pompe de rotation.



Fig.30. Pompe de rotation.

L'application des pompes de volume et de rotation est pratiquée très souvent dans le mélangeage des matières denses au sein des installations de biogaz. Les co-ferments et les enzymes utilisés en pratique sont souvent fournis en état pâteux. Dans ce cas-là ces pompes sont irremplaçables. Les pompes de volume sont auto absorbante, ce qui rend la place de leur montage indépendant. Leur construction permet un revers vers le sens de rotation. Cela fait repousser le substrat en avant et en arrière. Lors d'un tour du rotor, la pompe de volume repousse une quantité de matériel strictement déterminée.

Ainsi par un compteur qui enregistre le nombre des tours de la pompe pour un cycle de travail, on peut déterminer la quantité du substrat transporté. Donc, la pompe de volume sert de « nœud » de dosage dans l'installation de biogaz.

Un autre avantage des pompes de rotation c'est la possibilité de les utiliser à titre de pompe centrale, à l'aide de laquelle on mettra en mouvement d'un même poste de commande tous les courants de substrat dans l'installation. Dans ce cas-là, il est nécessaire d'utiliser une boîte de vitesses afin de régler le moment de rotation en fonction de la nécessité du courant concret.



V.5. Armature distributive et de commande

La commande des courants de substrat et le contrôle des processus effectués dans les

installations de biogaz exigent la mise en place de mécanisme central de distribution du substrat (fig.31)



Fig.31. Mécanisme central de distribution du substrat.

Les différents tiroirs représentent l'élément fonctionnel principal des nœuds de distribution vis à vis de leur construction et le mode de mouvement. Ils ouvrent et ferment les tuyaux vers tous les éléments de l'installation, et participent de cette manière à la commande des processus. Les tiroirs sont mis en mouvement à la main ou par un moteur. Dans les agrégats centraux de pompe il est préférable la mise en marche pneumatique de tous les tiroirs par une station de compresseur. Cela rend possible une commande par ordinateur et un management complètement automatisé des courants de substrat dans le cadre de l'installation de biogaz.

Le choix d'une configuration de tiroir est très concret et lié principalement à la consistance du substrat, la fréquence de commutation, la rapidité de travail et le degré de serrage. Lors du choix, il faut avoir en vu que les tiroirs rapides "tournants" ne serrent pas complètement. Les petits tiroirs plats serrent très bien mais ils sont sensibles aux corps étrangers (particulièrement les corps durs).

Lorsqu'on utilise des substrats à haute teneur en biomasse velue, les tiroirs les plus convenables sont ceux qui en fermeture coupent la masse, tombée à l'entrée du canal correspondant.

Les soupapes de retour sont irremplaçables en tant qu'armature de commande ainsi que les soupapes magnétiques. Ils assurent le sens unique du substrat. On les utilise pour éliminer les connexions « courtes » de courant et participent directement aux processus automatisés d'alimentation des digesteurs et à la conduite de la vieille boue.

Pour assurer le contrôle visuel (ou le monitoring électronique) sur la pression du substrat, on utilise des manomètres et des pressostats. Leur montage est absolument obligatoire sur les lignes magistrales de refoulement et d'absorption des pompes. La tuyauterie des installations doit être munie d'un nombre suffisant d'ouvertures de service nettoyage. Leur place est avant et après les secteurs en risque d'engorgement.



VI. Classification des installations de biogaz

VI.1. Classification technique et technologique

Les différents types d'installations de biogaz peuvent être classées conditionnellement dans des groupes à base des quelques principes et critères techniques et technologiques.

VI.1.1 Classification des installations suivant la matière sèche du substrat

Les installations de biogaz se divisent en deux groupes principaux :

- installations de biogaz qui fonctionnent selon le principe de la fermentation de méthane aux substrats liquides (teneur en matière sèche au-dessous de 30%). Ce groupe d'installations est particulièrement actuel pour les agriculteurs, les entrepreneurs dans les industries alimentaires et de transformation. Cette espèce d'installation est également convenable pour toute production liée aux eaux usées, dont la teneur en matière sèche organique est au-dessus de 6%. Le principe de fonctionnement de ces installations est décrit ci-dessus sur figures 8 et 9 ;
- installations de biogaz pour les déchets durs ménagers. Ce groupe inclut des schémas d'utilisation de substrats résiduels dont la teneur en matière sèche organique est supérieure à 35%. De telles installations ne représentent pas d'intérêt pour les agriculteurs ni pour les entrepreneurs. Elles exigent d'énormes investissements et sont applicables à la création des dépôts "gérés" de déchets autour les régions des villes. Elles suscitent l'intérêt lors de l'élaboration de programmes locaux, régionaux, nationaux d'utilisation des déchets communaux et de protection de l'environnement.

VI.1.2. Classification suivant le régime d'alimentation du bio digesteur

Les installations de biogaz se divisent en :

- installations à alimentation périodique du digesteur. On compte sur la fermentation entière de la biomasse, ce qui est possible technologiquement, après la vidange, le digesteur est alimenté de nouveau. Ce schéma de fonctionnement est bon pour les petites installations de biogaz. Faute à son rendement insignifiant, cette installation n'est pas intéressante pour les projets contemporains;
- installations à alimentation continue du digesteur et extraction périodique de la biomatière. Actuellement, La majorité des installations de biogaz fonctionnent à la base de ce principe. Elles se distinguent d'un rendement de gaz élevé et d'une remise rythmique de biogaz au « consommateur ». Le principe de son fonctionnement est présenté sur fig.32.

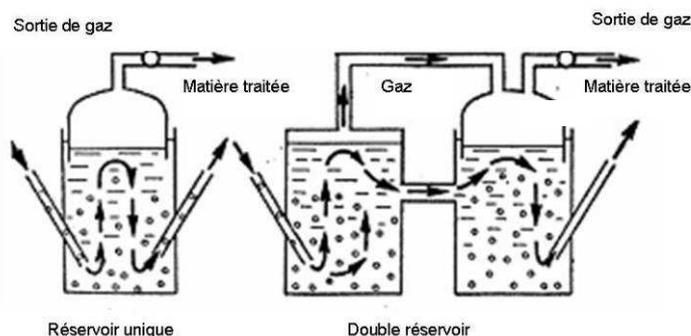


Fig.32. Méthode de production de gaz continue dans un réservoir vertical

VI.1.3. Classification suivant la capacité du digesteur

Les installations de biogaz peuvent être divisées en quatre groupes en fonction de la capacité du digesteur:

- petites – à capacité utile du digesteur jusqu'à 150 m³ ;
- moyennes – à capacité utile du digesteur jusqu'à 500 m³ ;
- très grandes – à capacité utile du digesteur supérieur à 1500 m³.

VI.1.4. Classification suivant le nombre de digesteurs – réservoirs

Les installations de biogaz peuvent être classées comme suit :

Installation de biogaz à un digesteur

Ce type d'installation est typique pour les entreprises de biogaz d'origine asiatique et africaine.

Actuellement, il n'est pas actuel dans les pays européens. Leur principe de fonctionnement est basé sur la méthode de Schmidt-Eguersglus.

Le schéma général présenté figure 33, exige un montage obligatoire de citernes tampons.

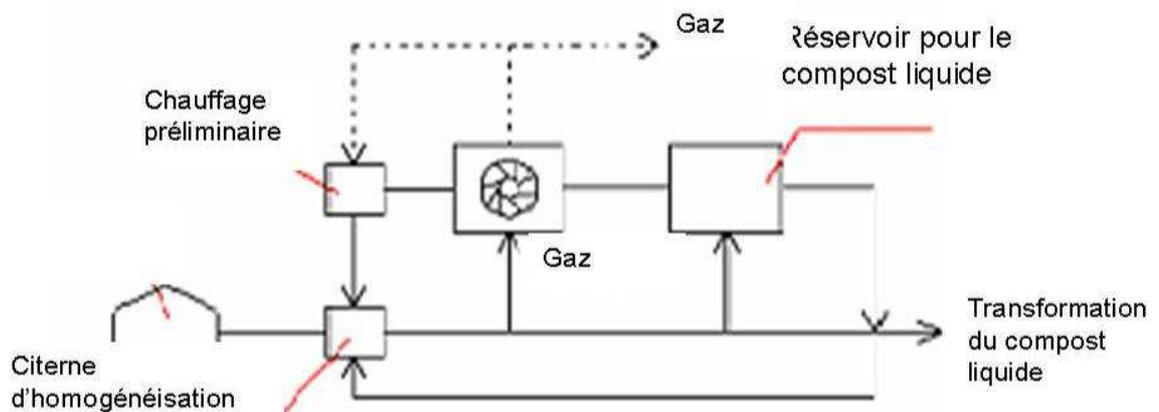


Fig.33. Processus technologique conforme à la méthode de Schmidt-Eguersglus

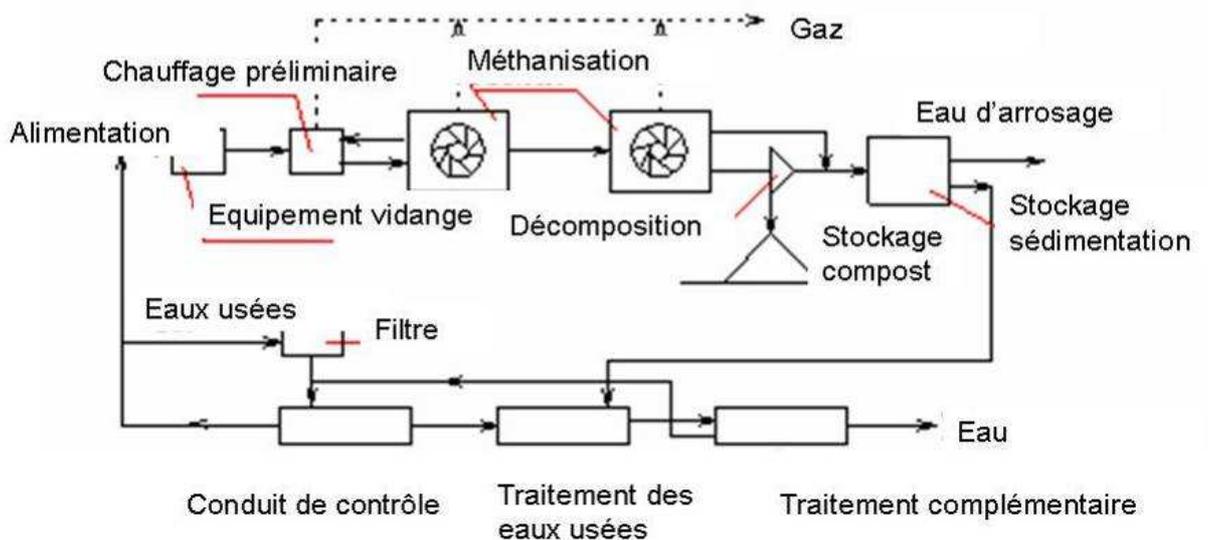


Fig.34. Processus technologique de production de biogaz de deux ou de plusieurs digesteurs (connectés parallèlement ou consécutivement)



Installations de biogaz à deux ou plusieurs réservoirs

Le schéma général est illustré par la figure 34 :

Les dimensions des réservoirs de fermentation sont déterminées par des critères techniques et économiques prévus par le projet. L'objectif principal de ce type d'installations de biogaz c'est de garantir la production rythmique de biogaz avec des risques d'exploitation minimaux, liés aux écartements accidentels et nets des paramètres technologiques dans le réservoir.

Ce système prévoit un branchement parallèle ou consécutif des digesteurs.

Dans le cas de la connexion parallèle, dans chaque digesteur se déroule le processus de méthanisation. Le branchement consécutif des réservoirs permet la distinction de la phase acide de celle de méthanisation. Techniquement, chaque phase se déroule dans un réservoir à part.

Installations de biogaz aux réservoirs amovibles

Cette variété d'installation de biogaz prévoit une connexion parallèle de deux ou plusieurs digesteurs. L'essentiel c'est de garantir au niveau technologique, un digesteur, en phase de production maximale de méthane. En même temps, les autres peuvent être en régime d'alimentation, de vidange ou d'autres processus d'exploitation. Ce schéma garantit une production de gaz rythmique à intensité, proche aux paramètres maximaux envisagés, pourtant des investissements plus importants sont indispensables.

Les installations de biogaz à deux ou plusieurs digesteurs présument deux schémas à part de décomposition microbienne du substrat.

- décomposition en une phase – dans un même réservoir se déroulent toutes les phases de la minéralisation du substrat.
- décomposition en deux phases – prévoit un déroulement autonome des phases acide et de méthanisation dans le temps et dans l'espace. Après avoir fini la première phase, c'est-à-dire, lorsque les substances organiques deviennent liquides, le matériel est déplacé dans un autre réservoir où se

déroule la phase de méthanisation. De cette manière on conserve mieux les colonies de bactéries de méthanisation. Le schéma de la décomposition en deux phases est présenté sur fig.12, mais il est nécessaire que les deux digesteurs soient connectés consécutivement. La division de la décomposition du substrat dans deux réservoirs permet un contrôle thermique plus précis, un contrôle du milieu pH, ainsi que sur le rapport C:N.

VI.2. Systématisation des installations de biogaz d'après le mode de leur construction

Les solutions de construction sont assez variées et de conjoncture, mais en général elles peuvent être groupées en deux types :

VI.2.1. Digesteurs souterrains ou semi souterrains

La construction souterraine d'installations peut assurer un régime thermique régulier contre une dépense de matériaux de construction relativement basse. Cette manière de construction est typique pour les petites entreprises de production de biogaz. Elle est recommandée pour les fermes et entreprises, qui possèdent déjà des bâtiments à reconstruire, soit les particularités du terrain sont propices à une solution de construction pareille.

VI.2.2. Installations situées sur la surface terrestre

La majorité des installations de biogaz nouvellement construites est bâtie sur le niveau du terrain. Cette solution s'impose grâce aux nombreux avantages des constructions préfabriquées en métal traité contre la corrosion ou bien en polymères. Une des tâches de projection chez ce type d'équipement, c'est de prévoir les pertes de chaleur à travers les murs des digesteurs et définir le type et l'épaisseur des matériaux d'isolation. Un panorama général d'une telle installation de biogaz est montré sur les photos des fig.35 et 36.





Fig.35. Panorama d'installation de biogaz à un digesteur (photo St. Stanev)

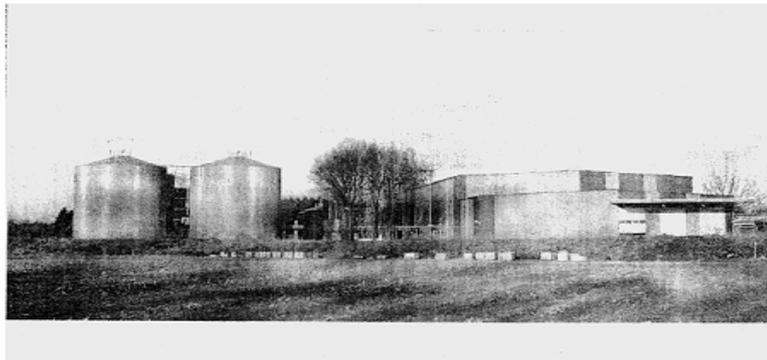


Fig.36. Panorama d'installation de biogaz à deux digesteurs (photo St. Stanev).

VI.3. Classification selon le mode de conservation de biogaz

VI.3.1. Installations à digesteur et réservoir à gaz communs

Cette solution est typique pour les petites entreprises de production de biogaz. Car le biogaz obtenu est conservé dans le digesteur (il n'y a pas de gazomètre constitué), son

utilisation doit être permanente. Les réserves d'accumulation sont limitées, ce qui pose souvent des problèmes de régime de son usage.

Une solution particulièrement performante de conservation de biogaz, c'est la fermeture du digesteur par une coupole en folio de polymère (voir fig.37)



Fig.37. Coupole en folio sur le digesteur de conservation de biogaz





Fig.38. Construction en bois pour soutenir la coupole.

Le folio est le plus souvent de type éthylène-propylène-polymère fixé au bord du mur du réservoir d'après la méthode "Seeger". Avec cette méthode, on fait bétonner un canal conique en PVC au bord supérieur du mur du digesteur. Le folio est déposé dans ce canal et en est bien serré par un tuyau à air sous pression. A l'intérieur, une construction en bois (de type ferme allégée) empêche la pente de la coupole lors d'une pression intérieure insuffisante de gaz, de pluie ou de neige (fig. 38).

Afin d'éviter la mise en place d'une construction de support, le marché propose des toitures gonflées à double folio. Dans l'espace entre les deux couches de folio, à l'aide d'un compresseur, on crée un coussin d'air de 20 à 30 mbar de pression. Cette solution rend la coupole stable contre le vent et la pluie et elle est toujours conique, n'importe la quantité accumulée de biogaz.

VI.3.2. Digesteur et réservoir à gaz construits séparément (gazomètre)

Dans ce type d'installations, le biogaz constitué dans le digesteur est conduit à un réservoir à part. Ces installations sont bâties à proximité des digesteurs et représentent des réservoirs en métal, des coupoles en plastique, des soufflets en plastique, des gazomètres, etc.

L'avantage principal de cette variante d'installations c'est la teneur diminuée en vapeurs et acide carbonique dans le biogaz. De plus, le réservoir de gaz garantit une pression permanente du gaz et un régime d'usage selon les besoins énergétiques courants.

La majorité des réservoirs sont dimensionnés de manière à couvrir la production de gaz au minimum au cours d'une demi-journée. Les grandes installations agricoles de biogaz produisent entre 1000 et 6000 m³ de biogaz par jour et la grandeur du réservoir doit être calculée conformément à cette quantité. Afin d'éviter des avaries et un échappement de méthane dans l'atmosphère, les installations de biogaz au rendement supérieur à 20 m³/h sont équipées avec un flambeau d'avarie pour brûler la quantité inutile de biogaz.

On n'applique plus dans le domaine de l'agriculture des réservoirs à biogaz sous pression, à cause des prix. Leur utilisation n'est efficace que pour traiter le biogaz.

A titre de dépôt de biogaz au sein des installations agricoles, les plus utilisés sont les réservoirs en folio polymère à construction différente (fig.39).



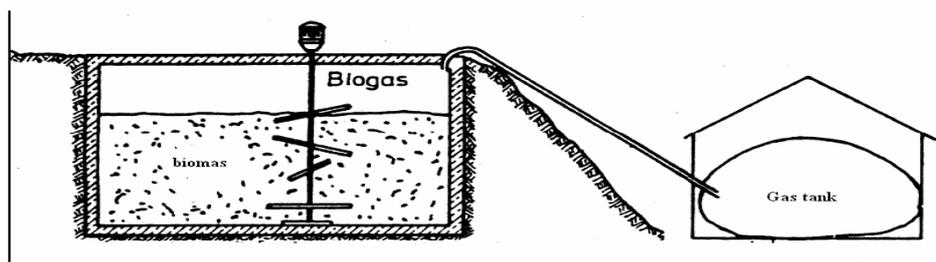


Fig.39. Réservoir à gaz en folio polymère.

La matière en plastique est résistante aux rayons ultraviolets et aux autres influences atmosphériques. Le folio est « armé » par des fibres synthétiques, qui améliorent la stabilité mécanique du réservoir.

Sauf sur un plateau à ciel ouvert en proximité du digesteur, le réservoir à gaz peut être installé dans des ateliers non utilisés. Une variété du réservoir à gaz en polymère représente le « réservoir-coussin » (fig.40).

Légende de la figure 40 :

- 1 Toit;
- 2 Gravité chargée
- 3 Coussin de conservation du gaz
- 4 Plaque fondamentale.

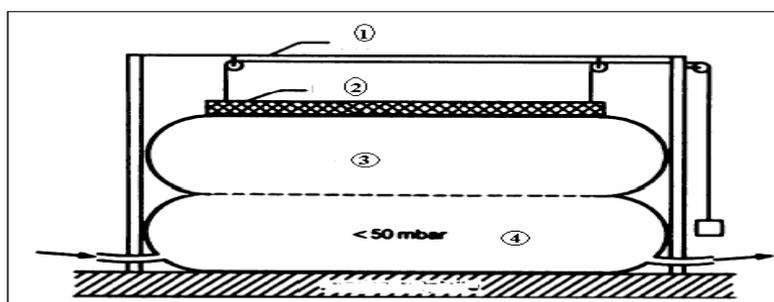


Fig.40. Réservoir coussin en folio polymère.

Cette variante d'accumulation de gaz garantit une pression permanente dans le réservoir d'environ 50 mbar. Cet effet est dû à la gravité sur le coussin de réservoir.

Les réservoirs de membrane ont connu une certaine distribution et ils étaient les premiers, qui avaient commencé à remplacer les gazomètres mouillés, bien connus auparavant.

Le corps du réservoir a une forme cylindrique ou ovale. Il représente une construction soudée en acier en feuilles, à l'intérieur de laquelle, à l'aide d'une membrane est constitué la chambre variable à gaz.

VI.4. Classification des installations de biogaz d'après les matériaux de construction utilisés

Cette classification est assez conditionnée, car le choix des matériaux est déterminé par plusieurs facteurs. De plus, chez les grandes installations il est bien normal d'utiliser de différents matériaux de construction pour les nombreux éléments d'une installation. En général, on peut diviser les matériaux en deux groupes :

- matériaux traditionnels (pierre, béton, métal, béton armé);



- nouveaux matériaux à base de polymères artificiels (matière plastique, polypropylène, verre stratifié, poly carbonates, folio polymère, etc.).

Les citernes ferroviaires mises hors service, les réservoirs à pétrole, les ballons en

plastiques représentent un intérêt pour les petites entreprises de production de gaz. Les possibilités d'usage, les inconvénients et les particularités des matériaux de construction sont désignés dans le tableau, voir fig.41.

Matériel de construction	Equipement du réservoir collecteur	Digesteur	Equipement du réservoir de sortie de gaz	Réservoir à basse pression
Béton armé	■	■	■	■
Béton	■	■	■	■
Tôle en acier résistant à la corrosion	■	■	■	■
Matériel en bois	□	■	■	□
Fibres vitreuses consolidées de polyester	■	■	■	■
Plastification	□	■	■	■
Matériel en plastique	□	■	■	■
Planches en plastique	□	■	■	■

Fig. 41. Matériaux de construction utilisés pour les installations de méthanisation.

Légende :

- Très convenable
- Convenable dans une certaine mesure
- Ne convient pas

Ces dernières années marquent une tendance durable d'usage des matériaux synthétiques polymères car leurs avantages en tant que poids, prix, capacité anticorrosion, bas coefficient de diathermanéité, etc. sont indiscutables par rapport aux matériaux de construction traditionnels.

VI.5. Conclusions sur la classification des installations de biogaz

L'exploitation pratique des différents types d'installations de biogaz pour substrats liquides suscite quelques conclusions importantes :

1. Par leur quantité de production et le degré d'extraction du gaz, le système par étapes et le système de travail à la chaîne ne manifestent pas de différences importantes.
2. Il est vivement recommandé de choisir la méthode du système par étapes dans les cas suivants:
 - lorsque la matière organique à traiter apparaît périodiquement et en grandes quantités;
 - lorsque la part de la cellulose dans la matière organique à traiter est considérable (par exemple, la paille et les tiges);
 - lorsque à certaines circonstances l'installation de travail par étapes peut passer au régime de fonctionnement technologique de production à la chaîne.
3. La méthode de travail à la chaîne exige moins de dépenses de construction, tandis que son exploitation se déroule avec moins de travail manuel.
4. Le choix du positionnement vertical ou horizontal des équipements (surtout du digesteur) dépend de la spécificité du terrain, le niveau des eaux souterraines, ainsi que du caractère des travaux de terrassement.
5. En la présence de hautes eaux souterraines, il convient mieux un positionnement horizontal de l'installation.
6. La construction horizontale est efficace également chez des réservoirs de capacité à 15 m³.
7. Il faut prévoir des murs doubles du digesteur et une isolation dans les régions à températures basses. Dans ce cas-là, le gazomètre plonge sur le « coussin » d'eau entre les deux murs. De cette manière, le fumier liquide ne salit pas la coupole et on évite la corrosion.
8. Les recherches sur l'extraction de gaz à deux phases prouvent, que le fumier liquide doit passer pendant la première phase (dans la première partie de la chambre de travail ou du réservoir) deux fois plus de temps, que pendant la deuxième phase. La capacité du digesteur principal (primaire) doit être deux fois plus grande par rapport à celle du secondaire. De cette manière, les deux extrémités coulées du gazomètre, monté sur le digesteur secondaire, restent propres. Il est utile que le digesteur primaire ait un mélangeur. La tuyauterie de conduite du gaz doit être installée sur le point le plus haut du digesteur.
9. La construction combinée est rationnelle de digesteur – gazomètre, dans les régions au climat plus frais, car le gazomètre en métal refroidit très fort le digesteur. L'inconvénient de cette méthode c'est la pression irrégulière du gaz.
10. C'est rationnel de construire les entreprises moins grandes de biogaz de manière que le digesteur dépôt occupe toujours un même espace. Cela diminue les frais de construction de la coupole en métal suspendue, augmente les pertes en chaleur et l'efficacité générale de l'installation, également.
11. Chez les équipements plus grands, il est bien de séparer la phase d'extraction du gaz de celle de son dépôt. De cette manière on diminue les pertes en chaleur du réservoir en métal. Le gazomètre flotte dans l'eau (liquide), donc, la pression du gaz demeure régulière.
12. Dans les équipements de méthanisation, il ne doit pas pénétrer des eaux usées provenant des bains et des laveries, contenant des savons ou d'autres détergents. Les eaux usées doivent être introduites dans les digesteurs séparément.
13. Les essais d'usage de la boue organique en tant que fourrage manifestent qu'on adopte bien un mélange d'environ 10% de boue avec du fourrage rude. Le bio matériel légèrement humidifié est destiné à nourrir les bestiaux.



VII. Quelles sont les avaries les plus rencontrées et les inconvénients des installations de biogaz de substrats liquides ?

1. Les pertes de gaz surgissent dans les cas suivants:

- compression de gaz insuffisante (murs, toits, sol, etc.)
- isolation insuffisante des cercles porteurs du réservoir de gaz, bâti au-dessus du digesteur, au-dessus du dépôt de compost, etc..;
- mauvaise herméticité du réseau de gaz.

2. Les pertes de chaleur apparaissent dans les cas suivants:

- isolation insuffisante ou bien lors d'usage de matériaux hygroscopiques;
- mauvaise isolation du réservoir de gaz;
- échappement de la chaleur par les ouvertures de contrôle, les mélangeurs, les tuyaux d'entrée et de décharge;
- tuyaux de chauffage mal dimensionnés ou bien mal isolés;
- vidange fréquente du compost liquide.

3. Des avaries apparaissent le plus souvent lors de:

- compression du matériel – à cause de l'activité insuffisante ou mauvaise du mécanisme mélangeur, soit causé par le mauvais choix de son remplaçant, les petits diamètres des tuyaux, le digesteur souvent

remplit jusqu'au bord, le durcissement de la bouillie à la surface du liquide, etc.;

- mauvais choix de pompes de remplissage (aux paramètres de travail plus bas ;
- présence de produits de désinfection, des détergents et d'autres substances chimiques bactéricides;
- refroidissement et congélation de la tuyauterie d'entrée et de sortie du fumier et du gaz ou bien bouchage des soupapes de la pression;
- durcissement de la bouillie dans le digesteur lors d'un nettoyage irrégulier, conformément au schéma technologique de projet.

VIII. Méthode de production de biogaz à base de déchets ménagers durs

Les déchets ménagers des lieux sont riches en matière sèche organique. D'habitude leur humidité est inférieure à 70%, ce qui ne permet pas, par principe, l'usage des technologies des substrats liquides de fermentation (observées ci-dessus) et la production de biogaz.

L'enfouissement convenable des déchets ménagers durs (DMD) mène à la dégradation anaérobie pareille à celle dans les digesteurs et la composition du gaz obtenu est pareille aussi; méthane 55-70%; 30-40% gaz carbonique et de petites quantités de gaz accompagnateurs. Sa capacité calorifique est environ 26 MJ/m³.

Les technologies de production des déchets ménagers durs sont présentées par le schéma, voir figure 42.

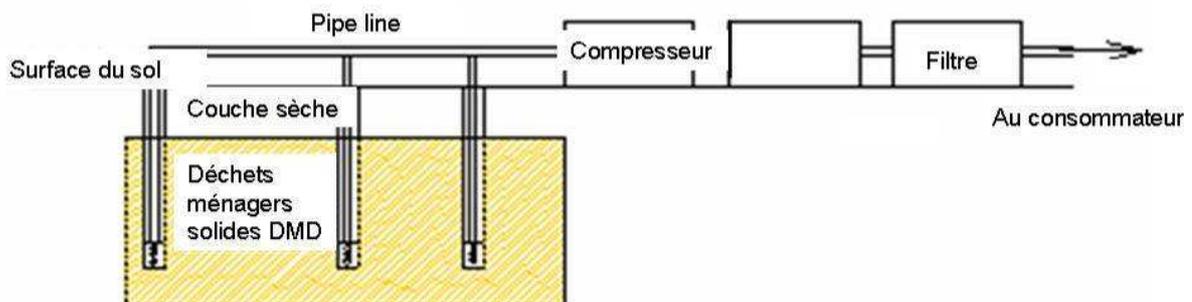


Fig.42. Schéma général de production de biogaz des déchets ménagers durs



Les ordures sont enfouies dans le sol en couche épaisse. Elles sont couvertes de terre ou bien de folio en plastique. On fait au-dessus un « scellage » en argile d'environ 1 m d'épaisseur.

Après sa constitution dans le « corps » du dépôt d'immondices, le biogaz se déplace de la manière suivante:

- diffusion – les gaz du dépôt d'immondices se déplacent des lieux de haute concentration vers les lieux de basse concentration;
- convection – les gaz accumulés dans les ordures créent des surfaces de plus haute pression et se déplacent vers la surface;
- solubilité – le méthane est soluble dans l'eau et se dégage en petites quantités par l'infiltrat obtenu.

La constitution et le déplacement du biogaz sont favorisés par une hausse légère de la température dans le « corps » du dépôt d'immondices (pendant les mois d'été) et la teneur en humidité de 40-50%. La part relative du méthane dans le biogaz commence à monter lorsque la quantité de l'oxygène des ordures enfouies s'épuise et descend au-dessous de 2%.

Car la teneur en méthane dans le biogaz dépend de la composition des ordures enfouies, avant la réalisation de tout projet concret, une vérification est indispensable afin d'établir si la production de biogaz serait rentable. On procède avec quelques sondages et au cours de trois-quatre mois on fait un test de « pompage » pour déterminer la composition du biogaz en tant que fonction de :

1. Degré de pompage des sondages.
2. le débit en fonction de la baisse de la pression lors de pompage.

3. La zone d'influence des sondages de pompage.

Dans ce but, on fait quelques ouvertures verticales dans les ordures enfouies. On y introduit quelques tuyaux en PVC (fig.43), les bouts supérieurs desquels sont connectés à un collecteur commun central à l'aide de cols convenables (par exemple de bentonite).

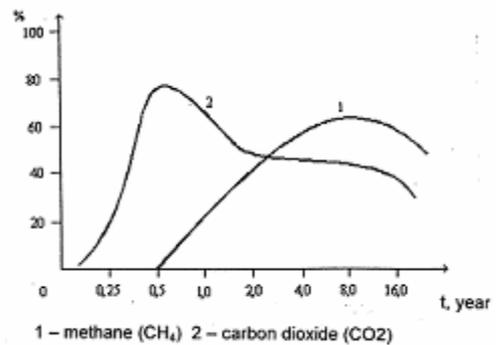


Fig. 43. Changement, dans le temps, de la composition du méthane produit à base des DMD

Après avoir reçu des résultats positifs des tests, on peut déterminer le nombre et le lieu d'installation des sondages d'exploitation, ainsi que la meilleure configuration du système de collecte.

La quantité de biogaz générée d'habitude est la plus grande au cours des premières années après l'enfouissement des DMD, et diminue avec le temps de manière exponentielle vis à vis de la semi-période correspondante. Cette relation est présentée graphiquement par la figure 44.

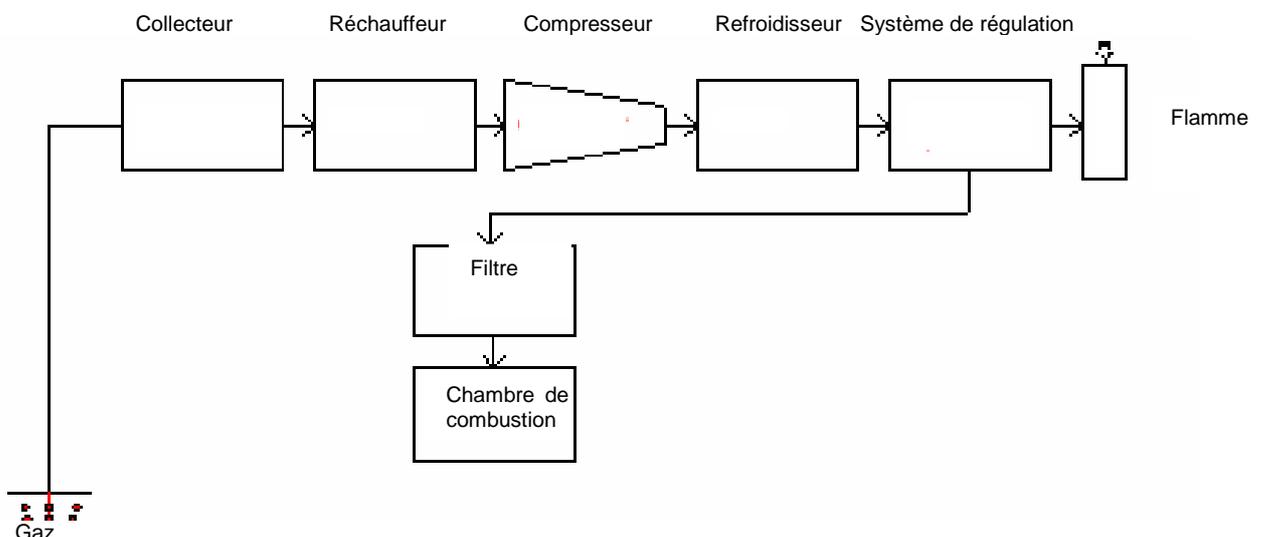


Fig.44. Schéma de traitement de gaz de dépôt d'immondices avant d'être brûlé

Le biogaz reçu du système de collecte est soumis au traitement avant d'être conduit à brûler. Le schéma général est présenté sur la fig.18. Le biogaz doit chauffer de 303°K (30°C) à environ 353-363°K (80-90°C) afin d'éliminer l'humidité. Le gaz déshydraté est conduit pour refroidir par un compresseur jusqu'à 277°K (4°C). La pression du gaz refroidi est contrôlée par un système régulateur, une partie du gaz est brûlée dans l'atmosphère (système de flambeau ouvert) le biogaz est conduit à brûler à travers d'un filtre afin de séparer les particules plus grandes de 0,3 mm.

La méthode de production de biogaz à base des DMD exige d'énormes surfaces et d'investissements importants. Donc, elle n'est pas «attrayante» pour les intérêts privés des agriculteurs et d'autres entrepreneurs. Cette méthode est intéressante pour des projets régionaux, sous le contrôle d'organisme d'Etat, d'organisations professionnelles ou d'autre type d'organisations, etc.

IX. Comment utilise- t- on le biogaz produit?

IX.1. Brûlé directement

Le schéma le plus simple d'utilisation de biogaz et son brûlement direct par un brûleur monté à un chaudron ou à un four. Les avantages de cette variété vont principalement vers les exigences insignifiantes envers la purification du biogaz. L'installation de brûlement est bon marché et facile à exploiter. Le brûlement direct de biogaz est utilisé surtout pour la production d'eau chaude dans des chaudrons pour le chauffage des maisons, des serres ou bien pour les besoins d'autres processus. Le brûlement de biogaz dans des fours fournit de l'énergie aux productions qui

exigent d'énormes quantités d'énergie (production des briques, ciment, verre etc.).

L'usage direct de biogaz exige une projection très précise et une connexion des régimes technologiques de fonctionnement des installations de biogaz avec les équipements de brûlement et les consommateurs de la chaleur.

IX.2. Cogénération, soit une production combinée d'électricité et de chaleur

La principale condition de la production combinée, c'est de garantir les consommateurs de l'énergie thermique. De cette manière augmente l'efficacité énergétique de tout l'équipement. La conception énergétique de cette production combinée est mieux illustrée par l'exemple suivant: dans les centrales électriques contemporaines dont le rendement s'élève à 42%. Le reste de l'énergie du combustible est conduit ensemble avec l'air à travers des tours de refroidissement. La production combinée d'électricité et de chaleur fait une double augmentation de l'efficacité d'usage du combustible primaire et les chiffres du rendement du module combiné s'élèvent à 77-87%, tandis que le rapport entre électricité et énergie thermique est environ 1÷1,5.

Pièces principales et aperçu de l'équipement de coproduction

L'unité de coproduction comprend un générateur de production d'électricité qui, d'habitude, est mise en fonctionnement par un moteur à compresseur et par des échangeurs d'utilisation de la chaleur séparée du moteur (fig.45).



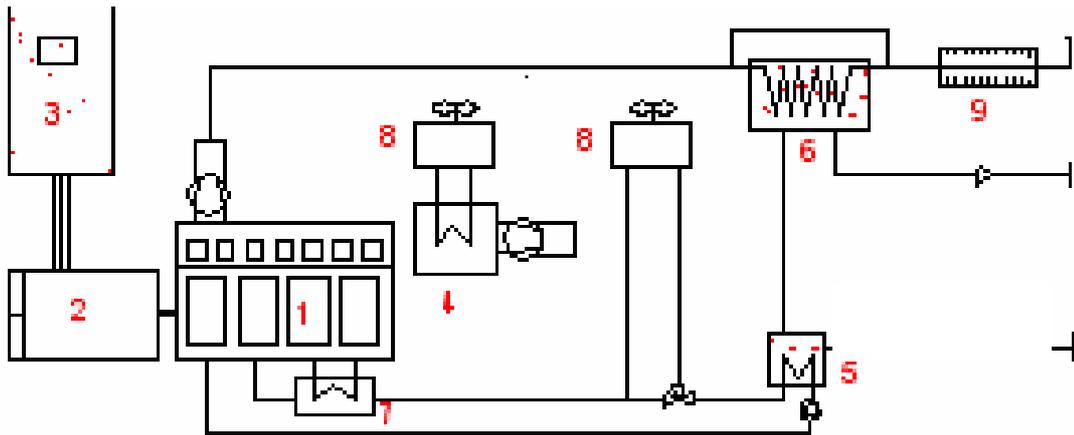


Fig.45. Schéma-bloc d'unité de coproduction

1. Moteur à gaz
2. Générateur
3. Distributeur avec système de commande
4. Réfrigérant intermédiaire pour le mélange de remplissage
5. Echangeur eau / eau
6. Echangeur gaz de cheminée / eau
7. Refroidisseur d'huile de décolletage
8. Refroidisseur de radiateur
9. Etouffeur.

Cette chaleur est conduite à deux niveaux thermiques. Les échangeurs pour le bloc d'agrégat et le système de décolletage du moteur garantissent l'utilisation de l'énergie thermique à niveau de 80-90°C. L'autre échangeur adopte la chaleur des gaz de cheminée dont la température est de 400-500°C. De point de vue débit du porteur de la chaleur, les échangeurs sont connectés consécutivement. D'habitude, les unités cogénératives sont destinées à fournir la chaleur aux systèmes diathermiques 90/70°C et moins aux systèmes 110/85°C ou bien 130/90°C. Dans le cadre de puissance de 20 kW à 5000 kW, on utilise principalement des moteurs combustibles. Ce sont des moteurs au fonctionnement de différents types: méthane Diesel, uniquement à gaz, munis des bougies de travail d'inflammation du mélange de méthane - air, etc.

Pour des puissances plus importantes, jusqu'à 200MW, sont proposés des unités cogénératives avec des turbines à gaz. Le biogaz nécessaire à la mise en marche de la turbine doit être conduit sous pression de 1,5-2,5 MPa en fonction de son effet de compression.

Les gaz de cheminée sont chassés de la turbine vers le chaudron (échangeur) de production de chaleur sous forme de vapeur d'eau ou bien eau chaude.

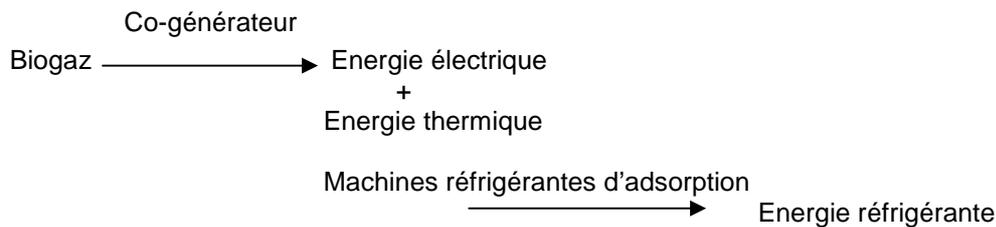
L'indice de base des dépenses d'investissement chez la production combinée de chaleur et d'électricité, c'est la dépense spécifique d'investissement de puissance électrique installée (EUR/kWe*). Cette valeur est dans les limites de 320 à 1270 EUR par kWe et diminue d'habitude avec la croissance de la puissance d'installation (sans les frais de construction et les frais de conduite de l'énergie électrique et thermique hors de l'unité).

kWe* – puissance électrique kilowatt.

IX.3. Triple fonction

La production combinée d'électricité et de chaleur suscite le problème d'utilisation de l'énergie thermique pendant l'été. La solution en est dans la transformation de l'énergie thermique en énergie réfrigérante à l'aide de machines réfrigérantes d'absorption. D'après ce schéma, la conversion de l'énergie de biogaz est triple :





Théoriquement, lors d'usage du triple schéma d'adoption de biogaz, l'efficacité de cette triple unité peut dépasser 100%. L'énergie réfrigérante chez la triple fonction est au niveau d'environ +5°C, ce qui la rend particulièrement convenable pour la climatisation des hôtels, des hôpitaux, des unités de production ou bien de construction de gros réfrigérateurs et des sécheres.

IX.4. Enrichissement du biogaz

Des installations d'enrichissement du biogaz sont construites aux Etats Unis, en Hollande, en Suède, en Allemagne. Les systèmes de purification et d'enrichissement du biogaz, prévoient la purification sulfureuse totale et atteindre une concentration du méthane au-dessus de 99%. Les technologies de dégagement du méthane et de dioxyde de carbone sont basées sur les méthodes d'absorption chimique, de séparation à l'aide de membranes et d'un traitement technologique. Le gaz méthane purifié est compressé sous haute pression et utilisé pour les besoins du transport.

L'exemple Suédois est significatif dans ce sens-là. Sous le contrôle des autorités nationales et territoriales, on y utilise le gaz méthane purifié à titre de combustible dans le domaine du transport public. On y a élaboré le premier train écologique au monde, mis en route par biogaz purifié et enrichi. Le moteur de la motrice est à deux moteurs Diesel (convertis à fonctionner à méthane), sa capacité est 54 voyageurs. Sa vitesse maximale est 130 km/h, un chargement garantit un parcours de 600 km.

Il est évident qu'une des directions principales de l'énergétique de l'avenir c'est le perfectionnement et la popularité des méthodes de production et d'utilisation de biogaz. Le développement dans ce domaine est un pas en avant vers la solution de la crise

énergétique et un model de base pour la purification et l'écologie de notre planète.

X. Modèle d'analyse économique d'une installation agricole de biogaz

X.1. Facteurs du résultat économique

L'estimation économique d'une installation de biogaz à l'étape de sa projection possède un caractère complexe et en est déterminée par plusieurs facteurs. Une partie de ces facteurs est liée aux décisions techniques et technologiques, à base desquelles l'installation sera bâtie et équipée. Nous pouvons citer ici les frais de construction, les frais de machines et agrégats de traitement et transport du substrat, l'équipement de contrôle automatisé, la commande et la signalisation des différents processus, ainsi que l'armature de préservation contre explosion, incendie et contamination de l'environnement. Il est à ajouter à ces dépenses « directes » les investissements indispensables à la fourniture régulière du substrat (biomasse) pour l'installation. D'une grande importance pour le résultat financier final est le pronostic réel à long terme sur le substrat propre à l'agriculteur et prévoir la part de la biomasse et des co-ferments fournis par un fournisseur extérieur.

Un autre groupe de facteurs, déterminant le profil économique d'une installation de biogaz, est lié au management de projection, construction et exploitation. L'estimation (surtout à long terme) de ces dépenses est assez difficile car l'action de ces facteurs a un caractère de conjoncture et dépend du dynamisme du marché énergétique, la



législation de l'Etat, les organismes professionnels et les organisations sociales, la politique des banques, etc.

Un schéma à titre d'exemple des dépenses du management d'une installation de biogaz à l'étape de projection, de la mise en conformité à la législation et de la mise en fonctionnement, doit prévoir ce qui suit :

- Financement du projet – sources, schéma de paiement, conditions de crédit et taux d'intérêt;
- Projection et légalisation – frais de projection technique-technologique et de génie civil. Connexion du projet avec la législation en vigueur du pays et de la région
- Acceptation et certification du projet – frais liés au régime de licence propre au pays, licence écologique des émissions dégagées dans l'environnement, acceptées ;
- Création d'une société (personne juridique) et tous les frais correspondants: taxes d'Etat et locales, frais d'avocat et de consultations;
- Formation de l'entrepreneur et (ou bien) des personnes qui vont travailler avec l'installation de biogaz;
- Elaboration d'un schéma de conduite du substrat fermenté et de l'utilisation de la boue;
- Assurance courante d'énergie – frais de combustible d'inflammation (par exemple Diesel), chaleur pour l'entretien de la température dans le digesteur, énergie électrique pour les agrégats d'installation (macérateurs, transporteurs, remueurs, etc.);
- Salaires;
- Loyer de machines et d'équipement – dépenses périodiques, liés surtout au traitement des co-ferments, etc.;
- Service et travaux d'exploitation courants;
- Formation courante – frais de littérature spécialisée et d'information, cotisation d'association;
- Frais d'activité sociale – organisation d'activités de type « portes ouvertes », partage de "bonnes expériences de production" etc.;
- Analyses périodiques – frais d'analyses chimiques et micro biologiques au laboratoire du substrat en fermentation et du substrat de sortie. Contrôle sur la teneur en métaux durs et de microflore pathogénique dans la boue sortant du digesteur;

- Assurances de l'entreprise (installation de biogaz) – frais d'assurances annuelles et autres, établies par la loi, exigées par la banque ou choisies par l'entrepreneur.
- Risque d'entrepreneur – l'expérience et l'analyse du fonctionnement des installations de biogaz en Allemagne, au Danemark, en Suède, etc., prouve la nécessité de calculer le risque soit disant d'investissement. Le minimum conseillé et de 2% par an de l'investissement total.

Ayant en vu les facteurs cités du résultat économique et les frais réels dérivés, on peut faire les calculs généraux de l'installation de biogaz à agrégat co génératif d'énergie électrique et de chaleur aux paramètres suivants.

X.2. Paramètres économiques d'installation de biogaz à l'étape de projection

1. Investissement pour le digesteur, dont environ 30% de technique de service (transporteurs, macérateurs, lampes, etc. :
2. Investissement pour le bloc de générateur combiné (de production d'électricité et de chaleur) dont :
 - 20% pour l'équipement
 - 10% pour l'armature de signalisation
 - 10% pour le liquide d'inflammation et d'autres consommables au prix fixé (0,38 €/l) : **450€/kW**
3. Investissement pour le dépôt de fumier : **41€/m³**
4. Consommation propre d'électricité (moteurs électriques du macérateur, remueurs, transporteurs) : **10,1 Ct/kWh**
5. Frais d'électricité imprévus ou variables : **1,5 Ct/kWh**
6. Frais de transport et de traitement du substrat : **1,8€/t**
7. Intérêt : **6%**
8. Durée de fermentation : **40-50 jours**
9. Teneur maximum en matière sèche du substrat : **20%**



10. Charge annuelle (heures de fonctionnement) de l'agrégat cogénérateur (h/a – heures d'un agrégat) : **8000 h/a**
11. Coefficient économique du générateur électrique : **22%**
12. Durée de conservation de la masse usée (la boue) : **180 jours**
13. Evaluation de la teneur en minerais de la boue

- N (azote) prix : **56 Ct/kg**
- P₂O₅ (acide phosphorique) : **55 Ct/ kg**
- K₂O (acide de potassium) : **28 Ct/kg**

Conformément aux paramètres désignés, la production naturelle de biogaz et les recettes de l'utilisation du fumier liquide de l'élevage ont approximativement la structure suivante :

Substrat	Dimension	Fumier vaches	Fumier cochons	Fumier d'oiseaux
Masse fraîche (FM)	T	1	1	1
Matière sèche	%	8,5	6,0	15,0
Masse organique de la matière sèche	%	85	85	75
Production de gaz de la matière sèche	l/kgTS	280	400	500
Production de gaz de la masse fraîche	M ³ /tFM	20,2	20,4	56,3
Teneur en méthane	%	55	60	65
Production d'électricité	kWhe/t	39,6	43,5	130
Recettes	€/tFM	4,0	4,40	13,13

L'expérience des installations de biogaz dans l'agriculture prouve d'une manière catégorique, que la production de biogaz à base du fumier liquide uniquement n'est pas rentable. La cause principale en est la production relativement faible de substrat.

Donc, la combinaison du fumier liquide avec d'autres co-ferments est une condition

obligatoire pour un meilleur résultat financier. De très bons indices de productivité de gaz possèdent les cultures vertes et fourragères, cultivées spécialement pour biomasse potentielle ou bien éliminées de certains processus technologiques. Le tableau suivant représente une synthèse des recettes naturelles et financières des cultures agricoles de biomasse les plus recommandées.



Substrat	Teneur Dimension	Herbe de prairie, début de floraison	Fourrage d'herbe phase moyenne de floraison	Fourrage de maïs, mûrissement lait-cireux	Betterave fourragère	Grain de blé
Masse fraîche FM	T	1	1	1	1	
Matière sèche de TS	%	20	35	35	16	87
Matière sèche organique de TS	%	90,8	89,8	96,0	90,3	98,1
Production de gaz	l/kgTS	548,5	561,6	599,6	683,9	700,9
	m ³ /tFM	99,6	176,5	201,5	98,8	598,2
Teneur en méthane dans le biogaz	%	53,8	53,6	52,3	51,1	52,8
Production d'électricité	kWhe/tFM	190,4	336,5	374,6	179,6	1123,3
Recettes	€/tFM	19,2	34,0	37,8	18,1	113,5

X.3. Exemple : Résultat financier final d'une installation de biogaz

A base des dépenses d'investissement et d'autres dépenses, vu les recettes attendues de la production de gaz, nous proposons un rapport du résultat final d'une installation de biogaz à agrégat de co-générateur (20 kW)

X.3.1. Recettes en produits et recettes financières

1. Production annuelle de gaz de ferment fumier. Volume utile de 481 m³, durée de fermentation 50 jours. Biomasse fumier liquide de bestiaux et fourrage de maïs- **75 748 m³**
2. Energie produite par l'agrégat de co-générateur. Au cours de 8000 heures de travail courant l'année (une pause de 5-7 jours est prévue pour le service courant) **406 652 kWh**
3. Energie reçue au profit du liquide d'inflammation, Indispensable au régime du moteur : **45 184 kWh**
4. Energie totale reçue du module de co-générateur (somme de p.2 + p.3) **451 836 kWh**
5. Part de l'énergie thermique produite par rapport à l'énergie totale : 50% (point 4 x 50%) : **225 918kWh**

6. Energie thermique pour entretenir la température dans le digesteur : **122 683 kWh**

7. Energie thermique gagnée pour le chauffage ménager et la production d'eau chaude à des fins technologiques ou ménagers (p.5-p.6) : **103 235kWh**

8. Electricité réellement produite au rendement du générateur électrique de 29% (p. 4 x 29%)

9. Recettes annuelles de la chaleur produite pour les ménages et l'eau chaude produite à des fins technologiques ou ménagers (mise en valeur du point 7) : **1 553 €**

10. Recettes annuelles de l'électricité produite du co-générateur au prix moyen de marché 10,10 Ct/kWh (p.8 x 10,10) : **13 234 €**

11. Recettes annuelles nettes de la production d'électricité et énergie thermique. Par le biogaz (point.9 + point.10) pour une année : **14 787 €**

X.3.2. Dépenses

12. Investissement pour le digesteur d'un volume de 481 m³ - dépense unique pour des travaux de construction et techniques : **250 /m³**



13. Investissement pour l'agrégat de co-générateur de 20kW dont la durée d'exploitation est de 5 ans : **6 000 €**

14. Investissement net (p.12 +p.13) : **126 277€**

15. Amortissements annuels de :

- l'installation de biogaz: partie génie civil (70% avec une durée amortissable de 20 ans) : **4 210 €**

- l'équipement technique et technologique (30%) avec une durée amortissable de 10 ans : **3 608 €**

16. Somme annuelle pour l'amortissement de l'agrégat du co-générateur à une durée d'amortissement de 5 ans : **1 200 €**

17. Intérêt annuel sur le capital d'investissement – 6% : **3 788 €**

18. Valeur des assurances obligatoires annuelles 0,5% : **601 €**

19. Dépenses annuelles de service et d'entretien:

- génie civil – 1% : **842€**

- partie technique 3% **1 082€**

- agrégat de co-générateur 10% **600 €**

20. Paiement du travail indispensable au contrôle et exploitation de l'installation, en moyenne 200 heures par an à 15€/h : **3 000 €**

21. Dépense annuelle pour le liquide d'inflammation (par exemple diesel) 4 518 l (littres) x 0,38 €/l **1 717 €**

22. Dépense annuelle d'électricité consommée par l'installation 25 124 kWh x 9,0 Ct/kWh (le prix est préférentiel) : **2 261 €**

23. Total des dépenses réalisées pour l'installation (somme des dépenses du point 15 au point 22) : **22 910 €**

24. Résultat final pour l'entretien (la différence p.11- p.23) : **8 123 €**

A la réduction du premier investissement unique pour le digesteur de 250€/ m³ à 150 €/ m³ la perte sur point 24 du rapport cité va diminuer à -2 543 €. La baisse du premier investissement est liée au choix des moyens techniques de classe inférieure, ce qui fait diminuer le degré du contrôle automatique

dans toutes les phases du processus de production.

Le rapport financier cité ci-dessus et l'expérience des entreprises de biogaz en général, prouvent que sans une législation adéquate et une politique financière d'Etat d'encouragement des ressources alternatives d'énergie, le développement de «l'énergétique de biogaz» est privé de sens.

L'un des facteurs de base pour le développement de la méthode de biogaz en Allemagne c'est la législation d'encouragement et de financement des projets de biogaz. La loi des ressources d'énergie renouvelable (EEG) a créé un milieu adéquat d'élaboration de programmes de stimulation de l'initiative dans le domaine de la production de biogaz. Actuellement en Allemagne on réalise deux énormes programmes de stimulation des projets de production de biogaz. Le programme MAP a quatre variétés différentes de financement direct et indirect.

Le programme d'investissement agricole prévoit 9 variantes différentes de stimulation. Conformément au régime préférentiel préféré et ses critères, les entrepreneurs peuvent profiter de stimulations financières qui s'élèvent à 40% des dépenses nettes d'investissement.

En conclusion, le développement futur de «l'énergétique de biogaz» sera déterminé non seulement par le progrès technique et technologique, mais par la législation adéquate des différents pays ainsi que celle de l'Union européenne, en général.

XI. Etudes de cas (installations de biogaz)

XI.1. Installation de biogaz SCHMITS à Aschaffendorf

Utilisateur: M. Gueorg Schmits, Tél.: 04968 – 201

Am Zaytencanal 3

26871 Aschaffendorf – ville de Papenburg

Auteur / Producteur: Krieg & Fischer Ingenieure GmbH, Tél.: 0551-3791386

Hannah-fogt-Schtrasse 1 télécopieur: 0551-7707712

37085 Guetingen info@kriegfischer.de

www.KriegFischer.de





Fig.46. Installation de biogaz Schmits (Aschaffendorf)

L'installation de biogaz de Gueorg Schmits se trouve à Papenbourg / Aschaffendorf, non loin de son entreprise agricole. Sa construction commence en 2002 et au début de 2003 l'installation est mise en fonctionnement par Krieg & Fischer Ingenieure GmbH. M.Schmits fournit à son installation de biogaz environ 3.000 m³ du fumier des cochons par an et environ 700 m³ uniquement de graisses végétales. Une partie du fumier lui vient de sa propre porcherie d'engraissement, il y ajoute du fumier complémentaire des fermes de la région.

Pour le mélange et une conservation intermédiaire, le fumier et les graisses sont collectés dans un fossé couvert au préalable. De là-bas on les pompe dans le réservoir sanitaire (désinfection). Ce traitement sanitaire se fait à 70°C pour tuer les microbes et les bactéries morbides et ne les laisser pas pénétrer dans le cercle de circulation. De plus, le matériel se dilue mieux tandis que le traitement sanitaire diminue le temps de fermentation.

L'installation de M.Schmits possède une particularité technologique, c'est qu'ici on utilise un équipement technique conforme au maximum au processus. Le digesteur dont le volume est environ 450 m³ est remuer – tout comme chez les installations industrielles, à l'aide d'un mélangeur, monté sur sa partie supérieure, à moteur monté à l'extérieur. Le réservoir est en béton armé.

Le processus de fermentation s'effectue dans un milieu thermophile à température de 50 à 55°C. Le biogaz composé passe du digesteur au dépôt de gaz du réservoir destiné à la fermentation complémentaire dont la capacité approximative est de 1700m³. Grâce à la double membrane au toit du dépôt de gaz, on évite les influences atmosphériques négatives. Ce revêtement hermétique empêche des émissions d'odeur désagréable.

Le biogaz produit est brûlé par deux moteurs Otto dont la puissance est respectivement environ 100 et 70 kilowatts. Ces moteurs consomment du biogaz et assurent le respect des dispositions de la loi concernant la protection de l'environnement. On peut utiliser du gaz naturel, si le cas se présente.



Fig.47. Digesteur + digesteur complémentaire de l'installation de biogaz Keurber-Harienhausen



Sa conception est élaborée sur l'idée du professeur Konrad Scheffer de l'Institut de plantes utiles auprès de l'Université de Kassel / Witsenhauzen. La fondation Dr. Volker Reimann Dubber a accordée une subvention importante pour financer ce projet.

L'installation est bâtie entre l'automne 2002 et le printemps 2003 par la société Krieg & Fischer Ingenieure GmbH. Sa mise en marche était en mars 2003.

XI.2. Installation de biogaz DAMMANN à Harzeffeld – Icendorf

Utilisateur: M. Friedrich Dammann, Tél.: 04163-811 471

Horneburger Str 21 Télécopieur: 04163-811 47321698 Harzeffeld – Icendorf

Auteur du projet / Producteur: E.U.R.O. Biogas
Personne à contacter: M. Ingénieur diplômé Swen Neuter

Anlagenbau GmbH Tél.: 0 51 93 / 97 44 85
Hasveder Wegr 2 télécopieur: 0 51 93 / 97 44 8629640
Schneverdingen E-Mail: info@eurobiogas.de

Description de l'installation

Digesteur en béton à mélangeur - Vilebrequin longitudinal - Moteur extérieur et Mécanisme de transmission.

L'installation de biogaz se trouve dans la cour de l'entreprise agricole Friedrich Dammann au centre de la ville de Harzeffeld – Icendorf. La construction de l'installation a débuté en octobre 2001. A la fin décembre 2001 on a produit la première électricité. La construction définitive et toutes les formalités finissent en juin 2002.

L'installation de biogaz comprend des digesteurs et un dépôt de fermentation résiduelle en béton armé, un réservoir rond au toit en béton, une machinerie, poste technique et dépôt de gaz à basse pression, réalisé en tant que réservoir en folio, station centrale de pompe et de transfert, mécanisme de fourniture de matières dures, composé d'un magasin de réserves au plancher glissant, transporteur à bielles et un piston, bloc-centrales thermiques et équipement technique central de commande et de réglage.

L'installation est presque automatique. C'est surtout l'alimentation du digesteur en substrat frais et en fumier qui est automatisée, ainsi que le pompage des résidus de la fermentation dans le dépôt de fermentation résiduelle.

On a déjà élaboré et la réalisation est très proche d'un système de commande à distance de l'installation par un ordinateur avec visualisation de l'installation et le logiciel correspondant.



BIBLIOGRAPHIE

1. Квалих Естер. Биогазв, Земиздат, София, 1986.
Kvalih Ester. Biogaz, journal Zemizdat, Sofia, 1986
2. Станев С. Биогаз: енергията, която идва от слънцето и се “натрупва в растенията, а ние пропиляваме”, Животновъдство плюс, №3, 22-24, 2003. *Stanev, S. L'énergie de biogaz qui vient du soleil et «s'accumule dans les plantes, nous la gaspillons », Jivotnovadstvo plus №3, 22-24, 2003*
3. Станев С. Биогазът – една златна възможност, Фермер, №7, 8-9, 2002. *Stanev, S. Le biogaz – une excellente opportunité, Fermer №7, 8-9, 2002*
4. Щайнер Т. Получаване на биогаз (биогазов процес), Годишник на Минно-геоложкия университет “Св. Ив. Рилски”, София, Свитък IV, Европейски факултет, XLIII, 53-60, 1988. *Schtainer T. Obtention de biogaz (processus de biogaz), Ouvrages annuels de l'Institut des mines et de géologie « St.Iv.Rilski » de Sofia, livre IV, Faculté européenne, XLIII, 53-60*
5. Граматиков П. Възможности за производство на биогаз от твърди битови отпадъци в България, Топлотехника за бита, бр.10, 9-16, 2004. *Gramatikov, P. Possibilités de production de biogaz des déchets ménagers durs en Bulgarie, Toplotechnika za bita, No 10, 9-16, 2004*
6. Biogas (Anlageban – Foerderung – Praxis betriebe, Landwirtschaftliches Wochenblatt, №29, 168, 2001.
7. Dan K. Anaerobic digestion, Walford College, 2000.
8. Обзор върху проблемите на биогаза. Материал, предоставен от Target GMBH Germany 2006 год. *Aperçu sur les problèmes de biogaz. Article fourni par Target GMBH Germany 2006*

