

# **Le biogaz « à la ferme »**

**R. Moletta**

**Moletta méthanisation**

**rene.moletta@yahoo.fr**

Rédigé pour RECORD (2003)

La production du biogaz à la ferme, à partir des lisiers et de déchets agricoles, s'est largement développée en Chine et en Inde, mais ce sont principalement des digesteurs de très faible capacité. Connus respectivement sous le nom de « réacteur chinois » et de « gobar gaz », leur utilisation est avant tout un objectif de production d'énergie pour des besoins domestiques.

En France, le biogaz à la ferme date des années 40. Pendant la guerre, on produisait un biogaz de fumier avec les digesteurs Ducellier Isman. C'étaient des systèmes batch avec une pré-fermentation aérobie, pour éviter l'acidogénèse lors du démarrage de la réaction biologique. Dans les années 70, suite à la crise pétrolière, on a vu fleurir de nombreux « digesteurs à la ferme » mais le nombre actuel des digesteurs en fonctionnement serait uniquement de 6 !

En Europe, la production de biogaz à la ferme est réalisée dans des digesteurs industriels qui fonctionnent le plus souvent en co-substrat (co-digestion). Les principaux pays qui ont développé cette stratégie sont l'Allemagne et le Danemark mais la Suisse (60 digesteurs à la ferme), l'Autriche, le Portugal, l'Italie, la Finlande connaissent aussi un fort essor des installations de biogaz à la ferme.

L'Allemagne est un pays qui a le plus développé le biogaz à la ferme.

Depuis 1994, on compte dans ce pays, plus de 1 600 installations de méthanisation (tout confondu) dont 800 sur déchets agricoles.

Les unités peuvent être individuelles à l'échelle d'une ferme ou centralisées regroupant plusieurs fermes. Elles traitent souvent des déchets extérieurs avec les déchets qu'ils produisent (co-digestion). Le biogaz est essentiellement valorisé en co-génération. L'électricité est vendue au réseau à 0,102 euros/kWh. Les installations peuvent être tout ou en partie auto-construites par les agriculteurs eux-mêmes ou bien livrées « clés en mains ».

Dans ce chapitre, nous aborderons les exemples de biogaz à la ferme, principalement à travers l'expérience Allemande et ceux mis en place dans les unités centralisées de traitement du Danemark..

#### 4.1 Potentiels méthanogènes de différents substrats

Les déchets agricoles et notamment les lisiers présentent un potentiel méthanogène intéressant comme le montre le tableau 4.1

Substrats	Matière Sèche %	Matière volatile/ matière sèche (%)	Potentiel méthanogène*
Fumier de bovins	25- 40	70	200-400
Lisier de bovins	5-12	75-85	200-350
Lisier de porcins	3-8	70-80	250-500
Fiente de volailles	10-30	70-80	350-600
Tontes de pelouse	20- 25	90	550
Paille	70	90	350-450
Déchets de cuisine	10	80	500-600
* m <sup>3</sup> de biogaz à 60% de CH <sub>4</sub> par tonne de Matière Volatile			

Tableau 4.1 : Potentiel méthanogène des déchets agricoles

#### 4.2 Digesteurs types pour la méthanisation des déchets agricoles

On distingue 3 types de digesteurs :

- En fonctionnement discontinu. Ce sont plusieurs digesteurs en parallèle avec recirculation du lixiviat. Les temps de séjour sont de 2 à 3 mois. Le schéma de fonctionnement est reporté ci-dessous sur la figure 4.1.

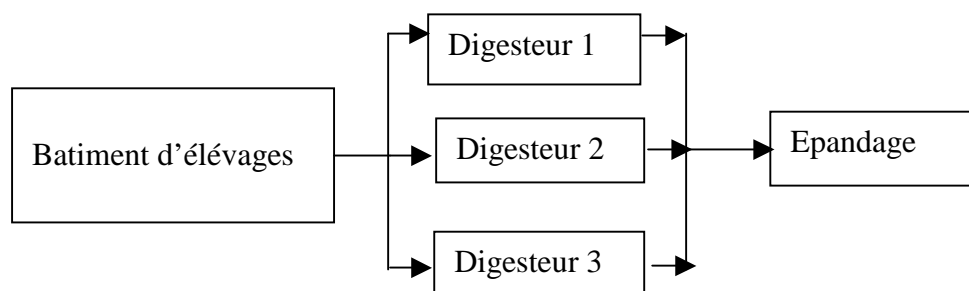


Figure 4.1. : Schéma de la mise en œuvre de digesteurs en discontinu

- En fonctionnement continu (ou semi-continu)

Dans cette stratégie, on distingue deux technologies différentes. La première est la mise en œuvre d'un brassage interne qui conduit à un réacteur dit « mélangé » et le second est plutôt du type « piston ».

- Digesteur type mélangé

Dans ce système un brassage est réalisé par un système à pales. Comme le montre la figure 4.2

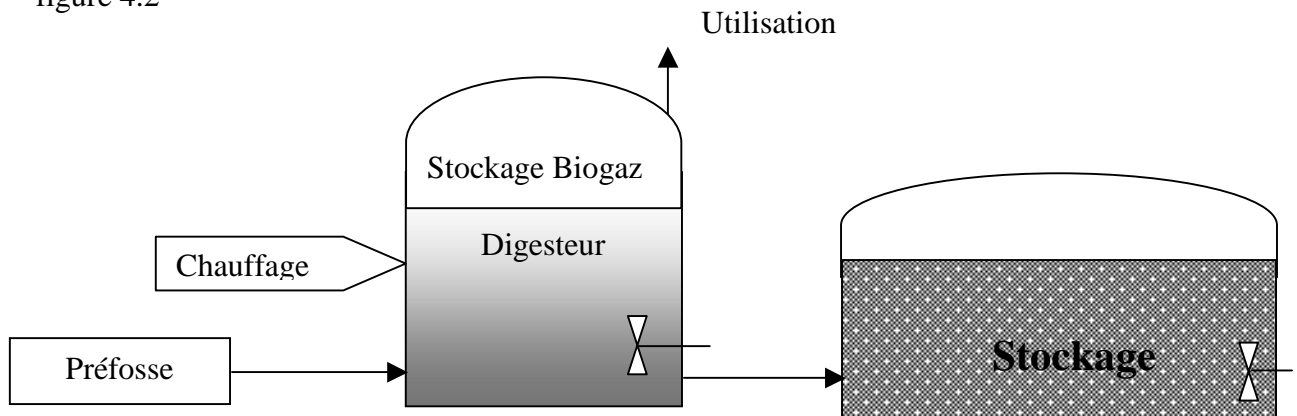


Figure 4.2 : Schéma d'un réacteur mélangé

- Digesteur type piston

Dans cette stratégie, c'est un système cylindrique où le substrat avance sous l'influence de pales. Il est représenté sur la figure 4.3

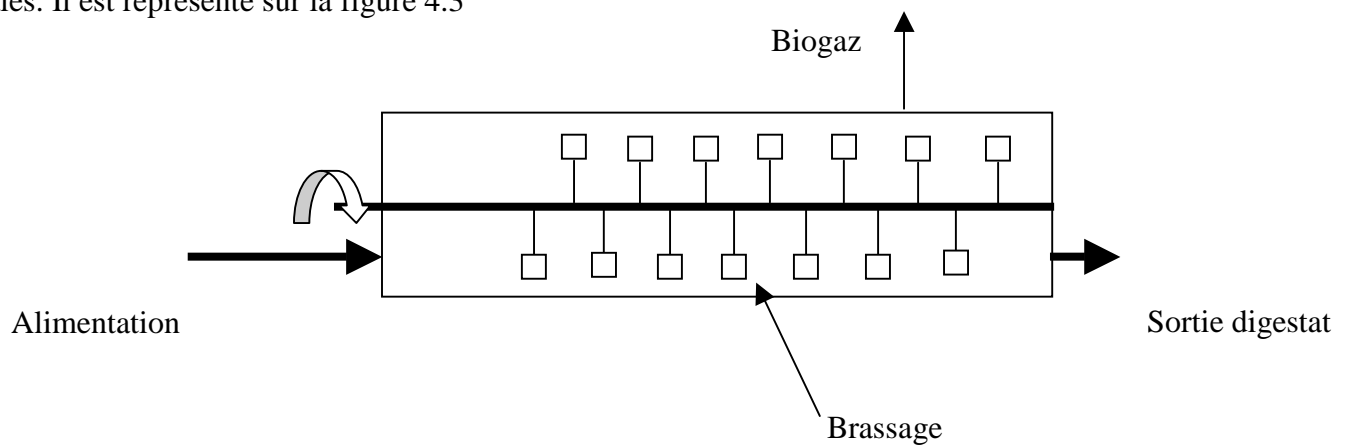


Figure 4.3 : Digesteur type piston pour traiter des déchets agricoles

### 4.3 Exemples de procédés mis en place en Allemagne

#### 4.3.1 Principaux constructeurs allemands

Nous rapporterons ici, les principaux constructeurs allemands qui ont une forte activité dans le domaine du biogaz à la ferme. Certains digesteurs sont réalisés en auto-construction par les agriculteurs, avec l'aide de cabinets d'ingénierie.

- **BEKON**

C'est un système de digestion discontinu avec recirculation du percolat. Il est représenté figure 4.4. Ce système qui a l'avantage de la simplicité permet une bonne maîtrise des temps de séjour. Les cuves sont chargées avec un mélange de déchets et d'inoculum. Une recirculation du lixiviat est réalisée afin d'améliorer les vitesses de méthanisation.

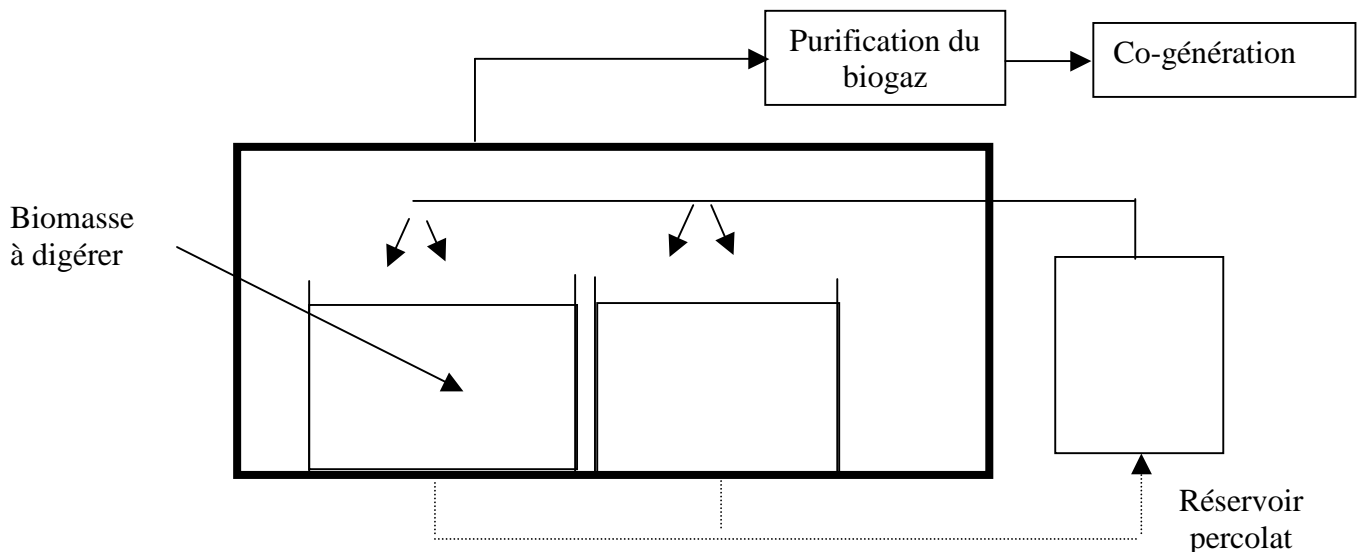


Figure 4.4. : Schéma du système de la société BEKON

C'est une fermentation sèche qui permet d'obtenir un rendement de  $100 \text{ m}^3$  de méthane/t d'herbe et  $180 \text{ m}^3$  de méthane /t de maïs ensilé.

- **Weltec Bio Power**

C'est une toute nouvelle société. Elle a été créée en juillet 2001 par deux sociétés WEDA et Stallkamp. La technologie de son digesteur consiste en une cuve pouvant aller de  $70$  à  $5\,000 \text{ m}^3$  dont le schéma est représenté ci-dessous (figure 4.5). C'est un digesteur de type fosse mélangée.

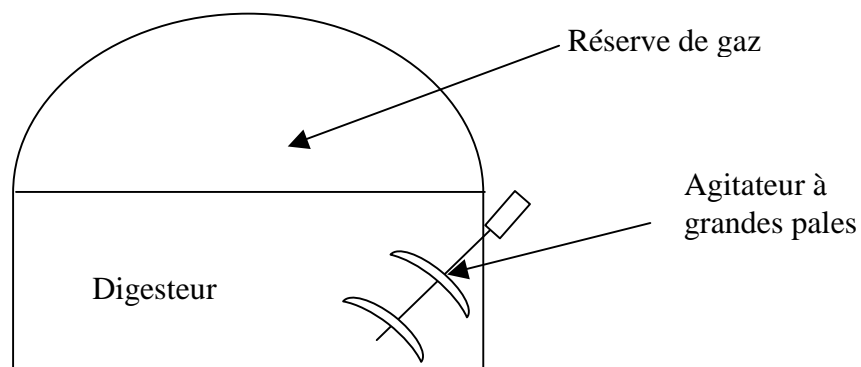


Figure 4.5 : Schéma du digesteur Weltec Bio power

- **LIPP GmbH**

Le schéma de principe est reporté ci-dessous figure 4.6. C'est un digesteur de type fosse mélangée, qui peut recevoir des déchets de végétaux agricoles et des déchets organiques issus des ordures ménagères.

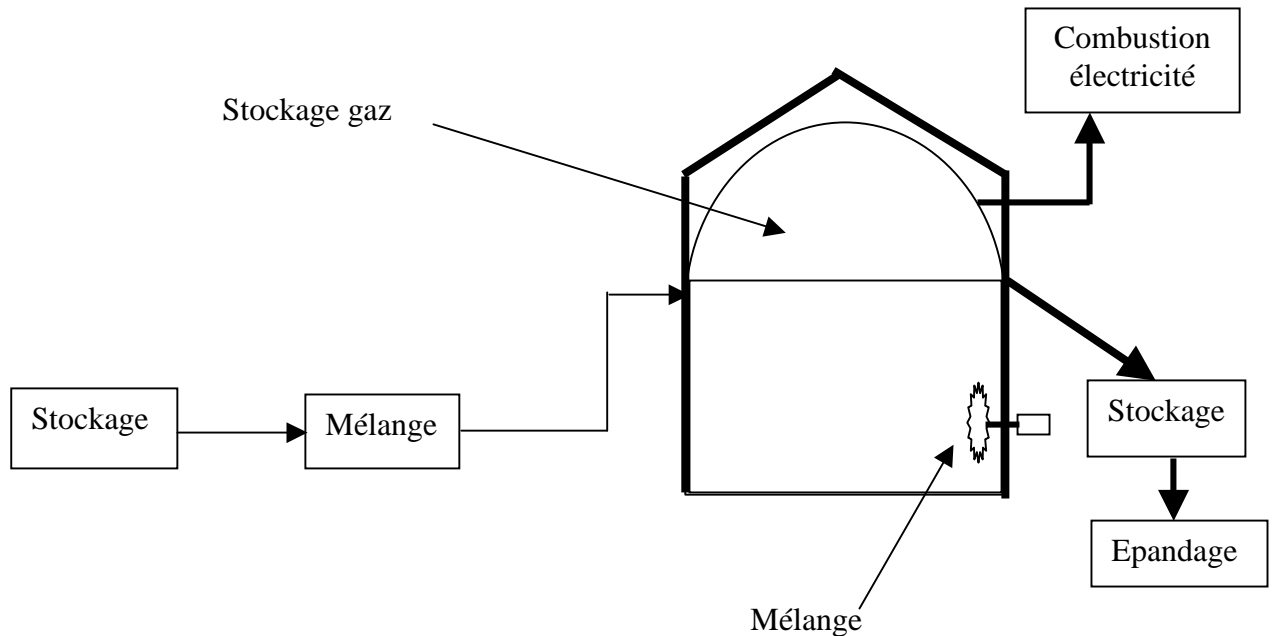


Figure 4.6. : Digesteur LIPP

Les digesteurs ont de 3 à 40 m de diamètre. Le biogaz produit est à environ 70 % de  $\text{CH}_4$ .

- **AAT Abwasser und Abfaltechnik GmbH & Co**

C'est un digesteur appliqué à différents types de substrat comme le fumier, déchets organiques industriels ou municipaux, boues de step. C'est un digesteur de type fosse dont le mélange est réalisé par le biogaz formé via la connexion de deux zones de stockage de gaz. Le schéma de principe est reporté dans la figure 4.7 ci-dessous.

Comme pour d'autres procédés appliqués aux déchets solides urbains, ce digesteur utilise le biogaz produit pour créer une agitation du digestat.

La vanne est fermée, le biogaz formé est piégé dans la couronne extérieure et sort dans le cylindre central. Le niveau de digestat monte dans ce cylindre (schéma A). On ferme la sortie de biogaz et on ouvre la vanne. Les pressions de biogaz s'équilibrent, le digestat descend au centre et monte sur les côtés (schéma B), créant ainsi un "mélange". Le système s'équilibre et en refermant la vanne, on peut recommencer (schéma C).

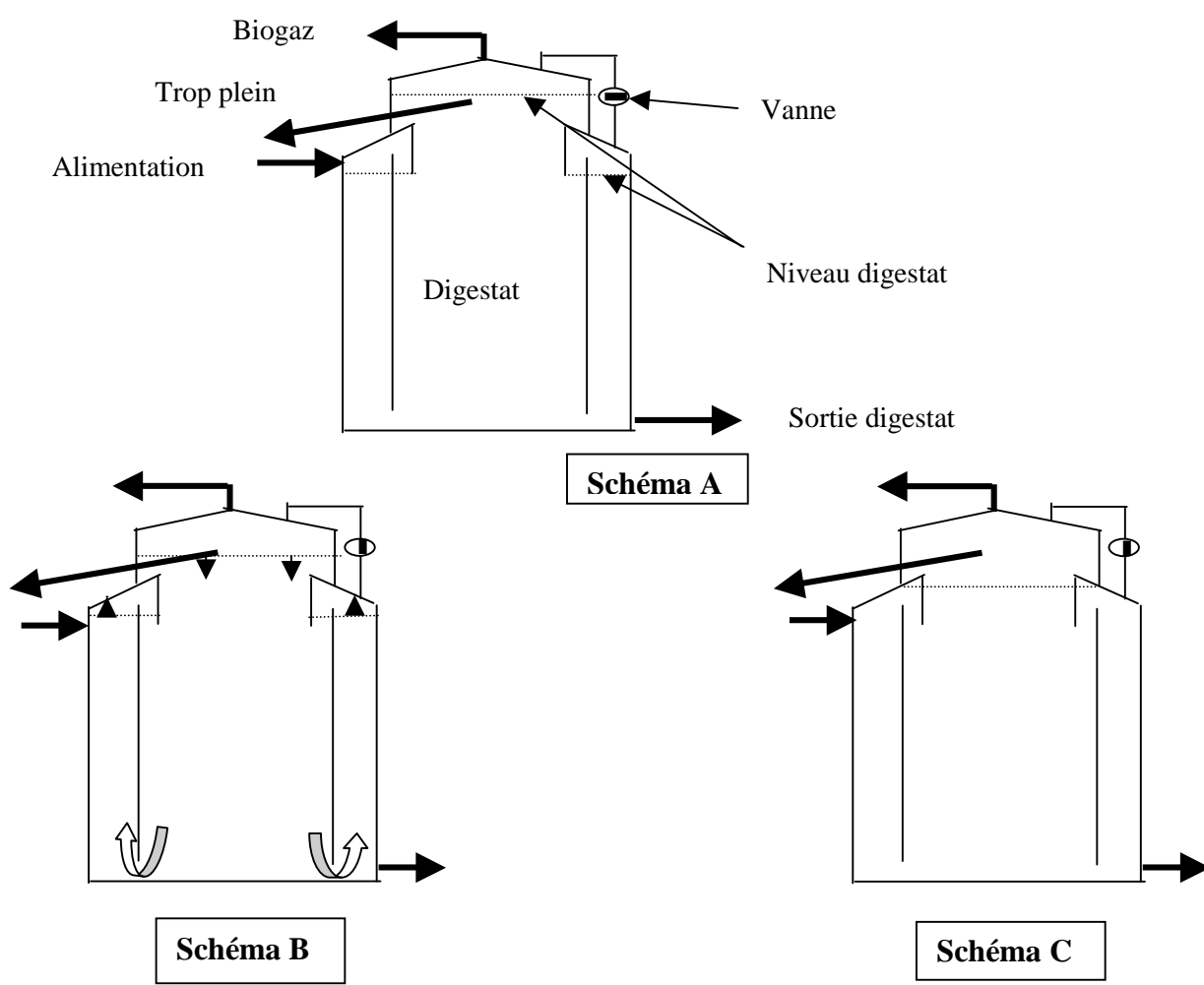


Figure 4.7 : Schéma du procédé AAT

Cette société affiche 34 références dont des volumes de réacteur maxi de 8 000 m<sup>3</sup>. Sur du fumier, ils fonctionnent à 12 % de matière sèche.

- **Navatech**

Elle commercialise le système piston et la matière avance à l'aide de pales. Son principe de mise en œuvre est représenté sur la figure 4.8 ci-dessous.

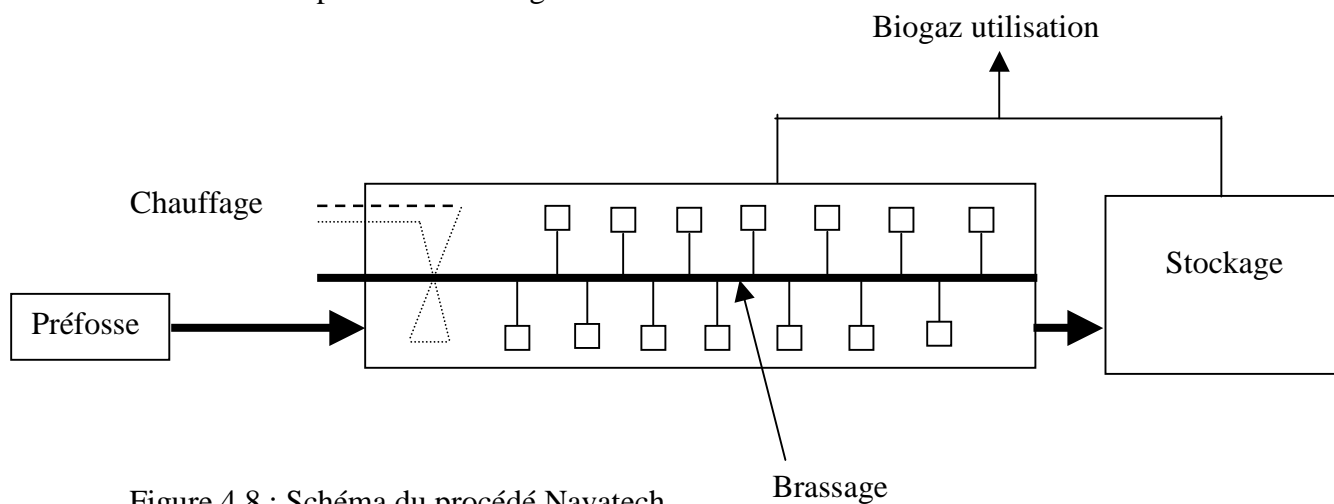


Figure 4.8 : Schéma du procédé Navatech

- **Autres sociétés commercialisant des digesteurs**

Nous citerons : AN Mashinnenbau und, Mannesmann Shieffert GmHb, Schmack biogas GmBh, dm 1-2, Borsig energy, UTS Umwelt-Technik-Sud GmBh, ECB enviro Berlin AG...

#### 4.3.2. Exemple d'une installation à Petersauach

C'est une installation située à l'Ouest du Nuremberg. Elle a été construite en 1997 (figure 4.9).

Elle a été conçue et construite par un particulier Christian Schneider en lien avec l'association allemande Fachverband Biogas. Cette ferme possède 800 places de porcs à l'engrais et 400 poules pondeuses. Elle traite annuellement 2 200 m<sup>3</sup> de lisier auquel s'ajoute 400 tonnes d'ensilage. Les effluents digérés sont épandus sur les cultures de la ferme (50 ha).

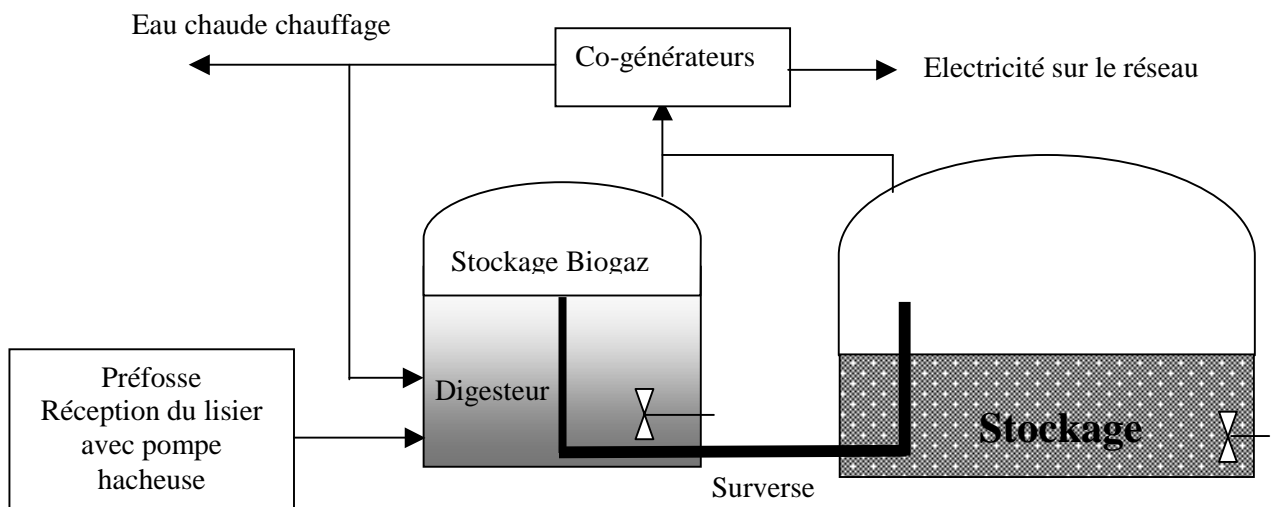


Figure 4.9. : Schéma de l'installation de Petersauach

Les données techniques de l'installation sont reportées ci-dessous.

- Déchets à traiter :
 

Lisier de porcs à 7% de MS	2 000 t/an
Fiente de poules	200 t/an
Ensilage d'herbe	200 t/an
Ensilage de maïs	200 t/an
- Volumes :
 

Digesteur	380 m <sup>3</sup>
Stockage du gaz (couvertures)	300 m <sup>3</sup>
Stockage du digestat	1 200 m <sup>3</sup>
- Méthanisation :
 

Temps de séjour dans le digesteur	1,5 mois
Température	35 °C. (30 à 40 ° C).
Production de biogaz	350 m <sup>3</sup> / J

- Cogénération :	
Puissance électrique	15 et 22 kW
Puissance thermique	30 et 45 kW
Production d'électricité	240 000 kWh
Production de chaleur	400 000 kWh

80 % du biogaz est produit dans le digesteur, le reste provient du stockage du lisier à température ambiante. Le biogaz est sommairement épuré avec une petite quantité d'air ce qui permet d'obtenir des concentrations en H<sub>2</sub>S de 60 ppm.

La valorisation du biogaz permet de produire 650 kWh électriques par jour et 1100 kWh thermiques. L'électricité est vendue 0,103 euros/kWh et 20 % de la chaleur annuelle produite sert à chauffer le digesteur.

L'investissement total pour cette installation était de 128 000 euros et l'exploitant a reçu une aide de 25 %. L'installation procure un revenu annuel de 24 000 euros (hors comptabilisation du travail) et des dépenses de 1 800 euros. Le temps de retour sur investissement est de 6 ans sans compter les gains de fertilisant et les odeurs évitées.

*La méthanisation à la ferme , Fiches techniques éditées par Eden ([www.eden-enr.org](http://www.eden-enr.org)), et l'Agence Régionale pour l'Environnement ([www.arpe-mip.fr](http://www.arpe-mip.fr))*

#### **4.4. Les unités de biogaz centralisées au Danemark**

Les informations rapportées ci-dessous représentent l'état de la situation en 1998.

Après la crise pétrolière des années 70, le Danemark a installé des digesteurs anaérobies pour produire de l'énergie en remplacement de l'énergie fossile. Il a opté pour une structure centralisée, récupérant de la biomasse autour d'une zone géographique. Le pays compte actuellement une vingtaine d'unités centralisées. Elles sont principalement placées dans la partie ouest du pays.

Le Danemark produit environ 35 à 40 millions de tonnes par an de fumier qui est la majeure partie de la ressource en biomasse. Il représente en gros 75 % de la biomasse traitée dans ces digesteurs, le reste étant des déchets principalement issus des industries alimentaires. Quelques unités traitent des boues urbaines avec le fumier et 4 unités peuvent traiter des ordures ménagères triées à la source.

Le fumier, principalement le lisier, est transporté de la ferme par les véhicules de l'usine. Les autres déchets sont transportés par les industriels ou les municipalités.



#### 4.4.1 Concept des unités de co-digestion

La mise en place de ce concept a nécessité une organisation dans les transports que cela soit pour apporter la matière à l'usine ou pour ramener les digestats dans les champs. Le concept de ces unités centralisées est représenté sur la figure 4.10.

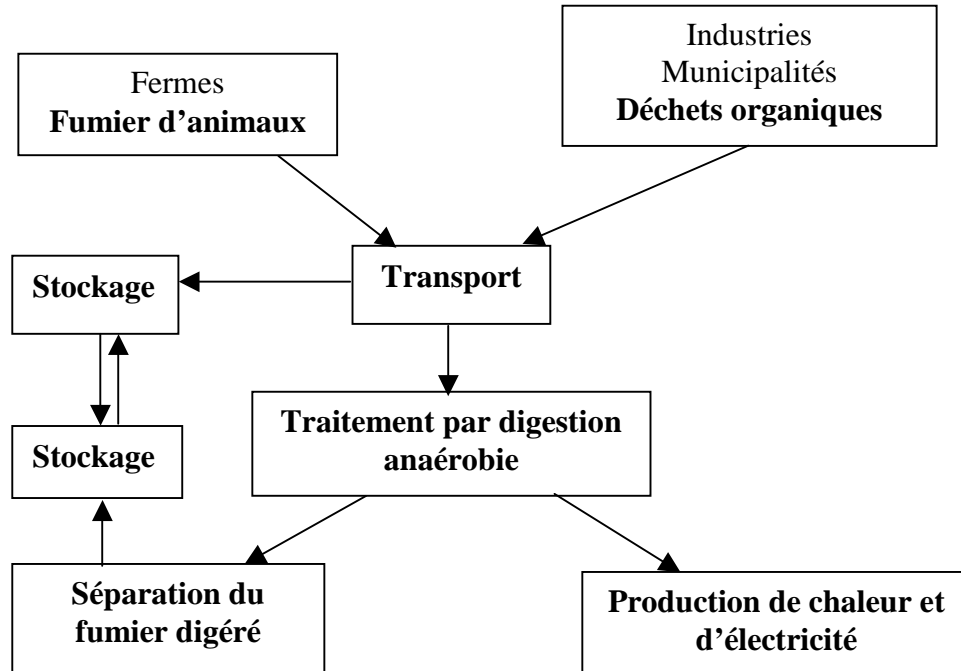


Figure 4.10 : Concept des unités centralisées au Danemark

Le biogaz produit est traité et habituellement utilisé pour produire de la chaleur qui est distribuée aux alentours et de l'électricité qui est vendue sur le réseau.

#### 4.4.2 Les aspects administratifs et politiques

Il est bien évident qu'une telle opération ne peut être réalisée qu'avec une série de mesures pour favoriser sa mise en œuvre.

Des contraintes législatives ont favorisé le développement de ces unités, elles sont :

- 6 à 9 mois de stockage du fumier dans les fermes ;
- restrictions sur l'épandage du fumier ;
- pas de déchets organiques dans les décharges ;
- mise en place de taxes sur les déchets quand ils sont incinérés et non recyclés ;
- les sociétés d'électricité sont obligées d'acheter le biogaz sur une base de prix fixée par la loi.

D'un point de vue économique, le gouvernement a pris certaines mesures :

- subventions de 20 à 40% au début de l'investissement. Maintenant, elles sont réduites car il estime que les risques encourus sont moindres ;
- le biogaz et la chaleur issue du biogaz sont exemptés de taxe sur l'énergie ;
- subventions de l'état de 0,27 couronnes par kWh d'électricité produite ;
- prêts à taux réduits concédés sur une longue période (20 ans).

Les objectifs du gouvernement danois pour 2005 sont :

- 20% de réduction de l'émission de CO<sub>2</sub> par rapport à 1988 ;
- 50% des déchets organiques doivent être recyclés ;
- la production de biogaz doit être quadruplée par rapport à 1995.

#### 4.4.3. Les aspects gisements

Sur les 40 millions de tonnes de fumier dont dispose le Danemark, en 1998 environ 1 million de tonnes ont été traitées dans ces unités : 51% sont du lisier de porcs, 44% du fumier de bovins 4% du mélange des deux et 1% du fumier de volailles ou d'élevages de visons et des déchets agricoles. A cela, il faut ajouter 325 000 tonnes d'autres déchets soit 24 % de l'ensemble traité.

Le tableau 4.2. ci-dessous donne une vue complète des déchets traités dans les différents sites du Danemark.

	Unité	V. Hjermtitslev	Vegger	Davinde	Sinding-Orrø	Fangel	Revinge	Ribe	Lintrup	Lemvig	Hodsager
Années de construction	Année	1984	1985	1988	1988	1989	1989	1990	1990	1992	1993
Capacités du digesteur	m <sup>3</sup>	1500	800	750	2100	3200	540	4650	6900	7000	880
Température (m/t)		m	t	m	t	t	t	t	t	t	m
Fumier de bétail	m <sup>3</sup>	7015	13656	6728	11980	11541	5311	91164	45671	51031	10449
Lisier de porcs	m <sup>3</sup>	3595	0	4707	23654	32462	2206	24492	32494	67372	1619
Fumier de volailles	m <sup>3</sup>					2482		917			
Fumier de visons	m <sup>3</sup>				86	48		2347	33	1075	
Autres fumiers	m <sup>3</sup>					1971			13097		
Déchets agricoles	m <sup>3</sup>										180
Total agricultural biomass	m <sup>3</sup>	10610	13656	11435	35720	48504	7517	118920	91295	119478	12248
Déchets organiques provenant de :											
Contenu de panse	m <sup>3</sup>		1150		5797	2276		19695	5567	11673	3898
Boues grasses ou de flottation	m <sup>3</sup>		2613	254		3855	807	11887	591	6441	
Fourrage	m <sup>3</sup>				59				364	564	275
Travail du poisson	m <sup>3</sup>	5296	1288	501				2515	17705	5012	1874

Fruits et légumes	m <sup>3</sup>					529	837		49		
Industries de boissons	m <sup>3</sup>										
Laiteries	m <sup>3</sup>				2649			5851		7917	
Industries du sucre	m <sup>3</sup>										
Terre de blanchiment	m <sup>3</sup>		1447		3776						
Tanneries	m <sup>3</sup>	340				1527					
Industries médicales	m <sup>3</sup>		96		448	956	628	3059	7321		
Autres industries	m <sup>3</sup>		99		994			51	155	256	
Boues urbaines	m <sup>3</sup>		205						6118	5046	187
Ménages	m <sup>3</sup>										
Total des déchets	m <sup>3</sup>	5636	6898	755	13723	9143	2272	43058	37870	36909	6234
Biomasse totale	m <sup>3</sup>	16246	20554	12190	49443	57647	9789	161978	129165	156387	18482
Biomasse par jour	m <sup>3</sup>	45	56	33	135	158	27	444	354	428	51
Production de biogaz, 1 000 m <sup>3</sup>		1492	2013	282	2348	2275	355	4762	3718	5302	656
Biogaz par jour	m <sup>3</sup>	4088	5515	773	6433	6233	973	13047	10186	14526	1797
Rendement en Biogaz	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	92	98	23	47	39	36	29	29	34	35

Tableau 4.2 : Traitement de la biomasse et production de biogaz en 1998  
m = mésophilie, t = thermophilie) démarrage inclus

	Units	Hasøj	Thorso	Århus	Filskov	Studsgård	Blåbjerg	Snerlinge	Blåhøj	Vaarst/Fjellerad <sup>1</sup>	Nysted <sup>1</sup>
Années de construction	année	1994	1994	1995	1995	1996	1996	1996	1997	1997	1998
Capacités du digesteur	m <sup>3</sup>	2900	4600	7500	880	6000	5000	2800	2800	2000	5000
Température (m/t)		m	t	m	t	t	t	t	t	t	m
Fumier de bétail	m <sup>3</sup>	7822	29432	18413	17655	13908	58650	9949	20821	8458	8841
Lisier de porcs	m <sup>3</sup>	17718	45232	103401	841	72567	23703	19055	2120	6350	45550
Fumier de volailles	m <sup>3</sup>		1138								165
Fumier de visons	m <sup>3</sup>								148		
Autres fumiers	m <sup>3</sup>	1957	15910	88		760	7207				
Déchets agricoles	m <sup>3</sup>		29		18				194		
Biomasse totale agricole	m <sup>3</sup>	27497	91741	121902	18514	87235	89560	29004	23283	14808	54556
Déchets organiques provenant de :											
Contenu de panse	m <sup>3</sup>	7639	10026	3045	5454	4880		116	159	5436	125
Boues graisseuses ou de flottation	m <sup>3</sup>	8213	4200	1030	6052	563	5689	6210	4685	5355	408
Fourrage	m <sup>3</sup>		125	833		33		41	179	8	62
Travail du poisson	m <sup>3</sup>	576	1561	0			7285	25	1792	1740	54
Fruits et légumes	m <sup>3</sup>			49			26	1586			137
Industries de boissons	m <sup>3</sup>			0				2208	177		
Laiteries	m <sup>3</sup>			5460		10515	2507			166	
Industries du sucre	m <sup>3</sup>										1819
Terre de blanchiment	m <sup>3</sup>			1322		5455				359	
Tanneries	m <sup>3</sup>			0			4509			27	
Industries médicales	m <sup>3</sup>	1264	2308	5247		1036		3118		2816	678
Autres industries	m <sup>3</sup>	965		403		889	1051				510
Boues urbaines	m <sup>3</sup>		5052				4306	1501			
Ménages	m <sup>3</sup>			54		864				582	
Total des déchets	m <sup>3</sup>	18657	23272	17443	11506	24235	25373	14805	6992	16489	3793
Biomasse totale	m <sup>3</sup>	46154	115013	139345	30020	111470	114933	43809	30275	31297	58349
Biomasse par jour	m <sup>3</sup>	126	315	382	82	305	315	120	83	86	160
Production de biogaz, 1000 m <sup>3</sup>		2504	3281	3860	1224	5841	3300	1694	1353	2382	1450
Biogaz par jour	m <sup>3</sup>	6860	8989	10575	3353	16003	9041	4641	3707	6526	3973
Rendement en Biogaz	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	54	29	28	41	52	29	39	45	76	25

Tableau 4.2 (suite) : Traitement de la biomasse et production de biogaz en 1998  
m = mésophilie, t = thermophilie) démarrage inclus

A partir de la biomasse, indiquée en 1998, on a 50,1 millions de m<sup>3</sup> de biogaz produits, ce qui donne une moyenne de 37 m<sup>3</sup> de biomasse par m<sup>3</sup> de biomasse traitée.

Dans des situations classiques, on a 20 m<sup>3</sup> de biogaz par m<sup>3</sup> de lisier. Ceci signifie qu'on a environ 45 % de la production de biogaz. L'apport de déchets est donc essentiel au succès économique de l'opération.

#### **4.4.4. Conditions de mise en œuvre des digesteurs**

Le transport des effluents est réalisé par des camions qui appartiennent à l'usine pour le transport des fumiers ou aux collectivités et industriels pour le transport des déchets.

La température de mise en œuvre des digesteurs est soit mésophile (45 %) soit thermophile (55%).

Les charges appliquées varient en fonction du site.

Pour l'unité de Nysted (construite en 1998), qui fonctionne en mésophilie, on a une charge brute de 32 kg de biomasse brute par m<sup>3</sup> de réacteur et par jour (avec une masse volumique considérée à 1) et un rendement en biogaz de 25 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de biomasse et par jour.

Pour l'unité de Vaarst / Fjelleradon (construite en 1997), qui fonctionne en thermophilie, on a une charge organique de 43 kg de biomasse brute par m<sup>3</sup> de digesteur et par jour avec un rendement en biogaz de 76 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de biomasse.

Jusqu'en 1990, le système d'agitation est réalisé par des systèmes immergés à vitesse de rotation rapide. De meilleurs résultats ont été obtenus par des agitateurs à rotation lente placés en haut des digesteurs.

Sur l'unité de Fangel, (et d'autres par la suite) le traitement de l'H<sub>2</sub>S se fait par addition de 5 % d'air au biogaz dans un réservoir maintenu humide par le recyclage du liquide séparé de l'effluent du digesteur.

#### 4.4.5. Aspects économiques

Le tableau 4.3. ci-dessous, représente les caractéristiques techniques des unités ainsi que les investissements et les financements pour les dix unités construites entre 1993 et 1998.

	Unité	Hashøj	Thorso	Århus	Filskov	Studsgård	Blåbjerg	Snertinge	Blåhøj	Vaarst/Fjellerad <sup>2</sup>	Nysted <sup>2</sup>
Années de construction	Année	1994	1994	1995	1995	1996	1996	1996	1997	1997	1998
Biomasse <sup>1</sup>	m <sup>3</sup> /day	126	315	382	82	305	315	120	83	86	191
Production de gaz <sup>1</sup>	1000 m <sup>3</sup>	2504	3281	3860	1224	5841	3300	1694	1353	2382	1450
Fournisseurs de fumier	-	17	75	45	7	50	58	14	15	14	35
<b>Investissements</b>											
Unités de biogaz <sup>4</sup>	1000 Dkr	18300	25600	54200	9500	46550	35400	18600	16500	30950	31700
Véhicules	1000 Dkr	1200	3500	-	700	3700	3500	1200	400	1300	1200
Réservoir de stockage <sup>5</sup>	1000 Dkr	2300	-	-	1000	2850	3000	1200	400	-	1800
Séparation fac.	1000 Dkr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Autres investissements	1000 Dkr	-	-	-	12000 <sup>7</sup>	2600 <sup>8</sup>		26800 <sup>7</sup>	16100 <sup>7</sup>		8980 <sup>7</sup>
<b>Total</b>	<b>1000 Dkr</b>	<b>21800</b>	<b>29100</b>	<b>54200</b>	<b>23200</b>	<b>55700</b>	<b>41900</b>	<b>47800</b>	<b>33400</b>	<b>32250</b>	<b>43700</b>
<b>Financement</b>											
Subventions aux investissements	1000 Dkr	5100	6300	10840	2500	13900	9700	9200	6900	7700	8500
Rapport de subvention	%	23	22	20	11	25	23	19	21	23	19
Prêts indexés	1000 Dkr	16700	22000	43360	17700	418000	32200	38600	26500	15700	35200
Prêts hypothéqués	1000 Dkr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prêts bancaires	1000 Dkr	-	800	-	3000	-	-	-	-	8850	-
Capital propre	1000 Dkr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>1000 Dkr</b>	<b>21800</b>	<b>29100</b>	<b>54200</b>	<b>23200</b>	<b>55700</b>	<b>41900</b>	<b>47800</b>	<b>33400</b>	<b>32250</b>	<b>43700</b>

Tableau 4.3. : Caractéristiques techniques des unités ainsi que les investissements et les financements pour les dix unités construites entre 1993 et 1998. Exprimé en couronne danoise soit 0,135 euros par Dkr.

1. Apport de biomasse et production de biogaz en 1998.
2. Période de démarrage inclus.
3. Considéré en fonctionnement normal.
4. Unité de production de biogaz , incluant le pré et post stockage, les pipelines et l'unité CHP.
5. Réservoir de stockage de lisier à la ferme ou en zone rurale, excepté pour Sinding et en partie Studsgard, ou les réservoirs sont situés à l'unité de biométhanisation..
6. Eoliennes.
7. Appareillage de combustion de la paille et de copeaux de bois et système de chauffage du district.
8. Pipeline pour le pompage du lisier.

Toutes les unités ont reçu des subventions du gouvernement de 20 à 40 %. Celles ci sont plus faibles maintenant car le risque est réduit.

Les unités centralisées danoises sont organisées de différentes manières : 9 d'entre elles appartiennent à des fermiers organisés en coopérative, 5 sont des coopératives qui incluent fermiers et utilisateurs d'énergie, 3 appartiennent à des municipalités, deux sont des fondations privées et une appartient à une société privée.

#### 4.4.6 La situation économique actuelle

Pour les années 1996/1997, la situation économique de nombreux sites est bonne comme le montre le tableau 4.4 ci-dessous.

	Années de construction	Acceptable	En équilibre	En cours d'amélioration	Non satisfaisant
Vester Hjermitslev	1984		X <sup>1)</sup>		
Vegger	1985	X <sup>1)</sup>			
Davinde	1988			X	
Fangel	1989				X <sup>1)</sup>
Revninge	1989		X <sup>1)</sup>		
Ribe	1990	X			
Lintrup	1990		X		
Lemvig	1992	X			
Hodsager	1993		X		
Hashøj	1994	X			
Thorso	1994		X		
Århus Nord	1995				X
Filskov	1995			X	
Sinding/Studsgård	1988/1996				X
Blabjerg	1996	X			
Snertinge	1996				X
Blahøj	1997			X	

Tableau 4.4. : Evaluation de la situation économique des unités centralisées de biogaz au Danemark situation en 1998.(Fjellerad et Nysted ne sont pas incluses car lors de cette étude elles n'étaient pas en opération normale sur toute une année).

1) Après avoir obtenu des facilités de remboursement.

Parmi les problèmes que rencontrent ces unités on a :

- manque de substrat ;
- construction inappropriée et mauvais équipement ;
- coût de l'énergie qui a baissé.

En intégrant un tel système les fermiers en tirent plusieurs avantages :

- économie dans le stockage du lisier ;
- transport du lisier à l'unité de traitement et retour « d'engrais » sur leurs champs par les camions, ce qui permet des économies de transport fermes-champs ;
- ils peuvent récupérer plus de produits à épandre qu'ils n'en fournissent ;
- le retour sur les champs d'un mélange issu des bovins et des porcs (le lisier de porcs a un déficit de potassium et un surplus de phosphore ce qui est l'inverse pour le lisier de bovins) ;
- économie d'achat d'engrais chimique.

Sur la région de Lintrup, une étude sur 10 fermiers a montré qu'ils économisaient environ 5 couronnes danoises par m<sup>3</sup> de lisier apporté aux unités de traitement.

#### 4.4.7 Coût du traitement des déchets dans les unités de production de biogaz décentralisées au Danemark

Ces unités de traitement ont été décentralisées pour apporter une solution intégrant les problèmes de l'agriculture, de l'énergie et de l'environnement. La connaissance des coûts de fonctionnement est important pour la pérennisation de la stratégie.

Dans les unités danoises, on a typiquement 20 % de la biomasse totale en déchet ce qui augmente la production de biogaz et les rentrées financières. Les coûts typiques de traitement de la biomasse sont reportés sur le tableau 4.5 ci-dessous.

	<b>Couronnes Danoises par m<sup>3</sup> de biomasse traitée</b>
Transport de la Biomasse :	
• Coûts de fonctionnement	15
• Coûts d'investissement	4
Digestion anaérobie	
• Coûts de fonctionnement	17
• Coûts d'investissement	26
<b>Total des coûts de traitement</b>	<b>62</b>
Vente d'énergie	51
Déficit sur le coût de traitement	-11

Tableau 4.5. : Coûts typiques de traitement de la biomasse (1 Dkr = 0,135 Euros)



Ce calcul est basé sur :

- une capacité de traitement de 300 m<sup>3</sup> par jour ;
- un rendement de biogaz de 30 m<sup>3</sup> de biogaz par m<sup>3</sup> de biomasse ;
- introduction de 20 % de déchets ;
- la biomasse résiduelle est un lisier ;
- le prix du biogaz est de 1,70 DKK par m<sup>3</sup> ;
- intérêts sur investissement de 5% ;
- période d'amortissement de 15-20 ans pour l'investissement du digesteur ;
- période d'amortissement de 7 ans pour l'investissement du camion ;
- période d'amortissement de 15 ans pour l'investissement de la citerne.

La vente du biogaz ne compense pas le coût de traitement.

Mais la mise en décharge des déchets coûte 50 à 100 DKK par m<sup>3</sup> de déchets. Comme on en ajoute 20 % environ, cela compense la perte voire permet de diminuer des dépenses.

Au Danemark, l'incinération coûte 200 à 300 DKK la tonne, le compostage 300 à 400 DKK la tonne et 50 à 60 DKK pour le traitement en unité centralisée.

#### **4.4.8 Exemple de l'unité de Nysted**

Cette unité a été construite en 1997-1998. Elle appartient à un groupe de fermiers. La production animale est dominée par l'élevage de porcs.

Le réacteur est mésophile (38 °C.) avec une étape de post hygiénisation de 8 h à 55° C.

L'unité reçoit du lisier et du fumier de 36 fermes. Il est composé de : 82 % de lisier de porcs, 17% de lisier de bovins et 1% de fumier de volailles.

Le lisier est mélangé et co-digéré avec des déchets organiques de l'industrie sucrière, l'industrie médicale, des tanneries, des graisses et des boues d'abattoirs, des déchets de fruits et légumes et de faibles quantités d'autres déchets organiques.

L'unité est aussi capable de traiter des déchets ménagers triés à la source.

Au dessus du réservoir de stockage, il y a un ballon à double membrane de stockage du biogaz qui récupère aussi le biogaz issu du stockage.

Le biogaz est utilisé dans un moteur de 2 300 kW. L'électricité produite est envoyée au réseau. Elle correspond à une consommation annuelle de 1 300 foyers.

La chaleur récupérée est envoyée dans 150 foyers du village de Kettinge.

Les principales caractéristiques de l'unité sont :

- déjections animales 180 t/jour ;
- autres biomasses 31 t/jour ;
- production de biogaz 2,6 millions de N m<sup>3</sup>/an ;
- volume du digesteur 5 000 m<sup>3</sup> ;
- température de fonctionnement 38 °C. ;
- hygiénisation 8 h à 55°C. ;
- volume de stockage du gaz 2 500 m<sup>3</sup> ;
- utilisation du biogaz cogénération et combustion pour eau chaude ;
- transport 2 camions remorque de 18 m<sup>3</sup> ;
- distance moyenne de transport 7 km ;
- investissement 43,7 millions de DKK ;
- subvention gouvernementale 8,5 millions de DKK ;
- constructeur Krüger Ltd ;
- démarrage 1998.

Le schéma de l'unité est représenté sur la figure 4.11 ci-dessous.

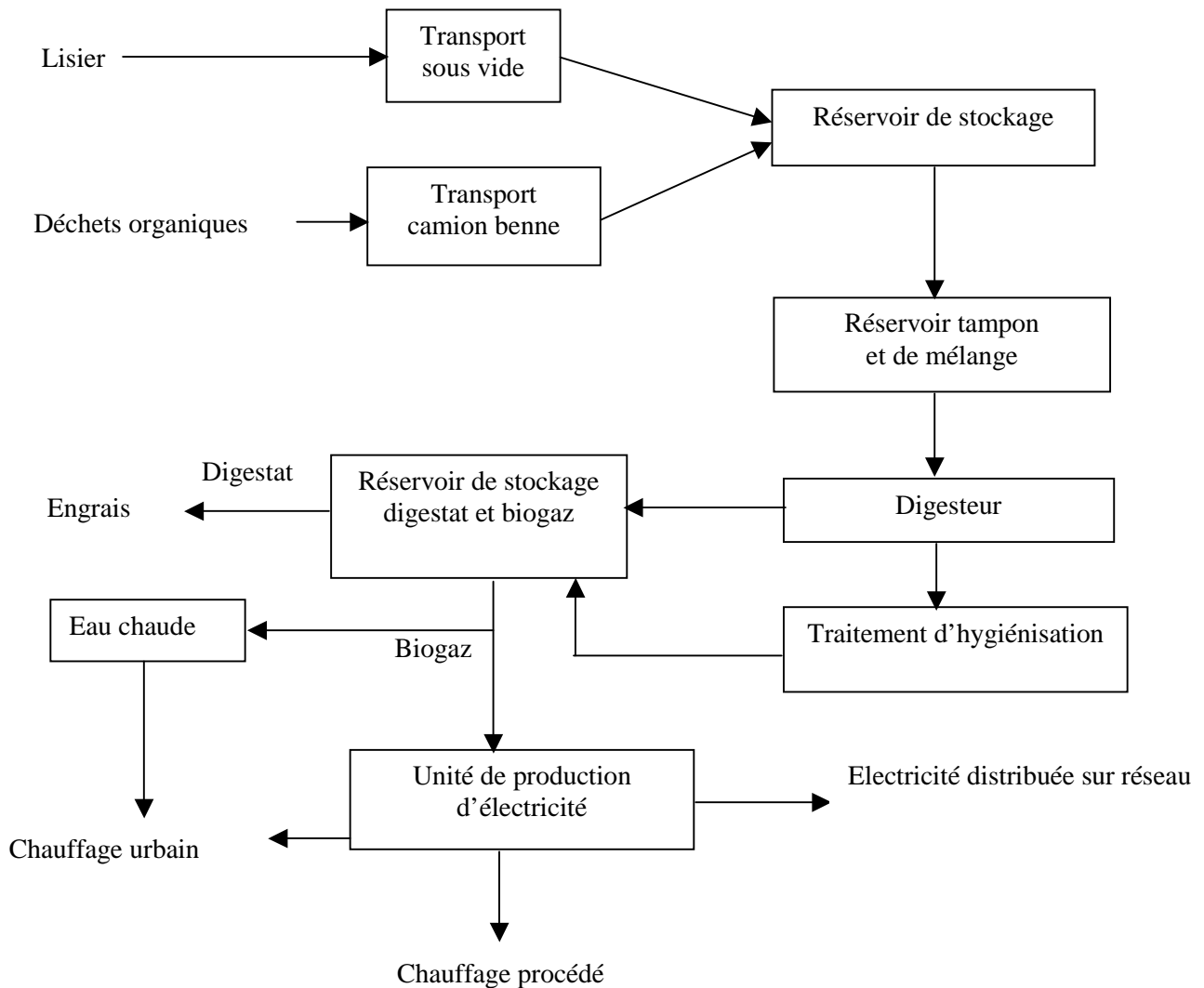


Figure 4.11 : Schéma de l'unité de Nysted

Danish Institute of Agriculture and fisheries economics, (1999), *Centralised Biogas Plants Integrated energy production, waste treatment and nutrient redistribution facilities.*

Agence danoise de l'énergie (1996), *les installations de biogaz centralisées au Danemark, février 1996.*

Danish Centralised Biogas plants- plant description. (2000) Bioenergy department, university of southern Denmark.

#### 4. 5. : Exemple d'une unité de méthanisation du lisier en France : la plateforme ADAESO à Montardon

C'est une unité de digestion anaérobie, qui traite depuis 20 ans les rejets de lisier de la station expérimentale des élevages de porcs de Montardon dans la zone péri-urbaine de Pau (64). Ce lisier comprend aussi les déjections de palmipèdes qui représentent 20 % des volumes entrants. Les effluents digérés sont utilisés pour fertiliser les cultures de maïs. Depuis deux ans, des travaux sur la digestion anaérobie de co-substrat ont été réalisés.

##### 4.5.1 Schéma de l'installation

Le schéma de l'installation est représenté sur la figure 4.12 ci-dessous.

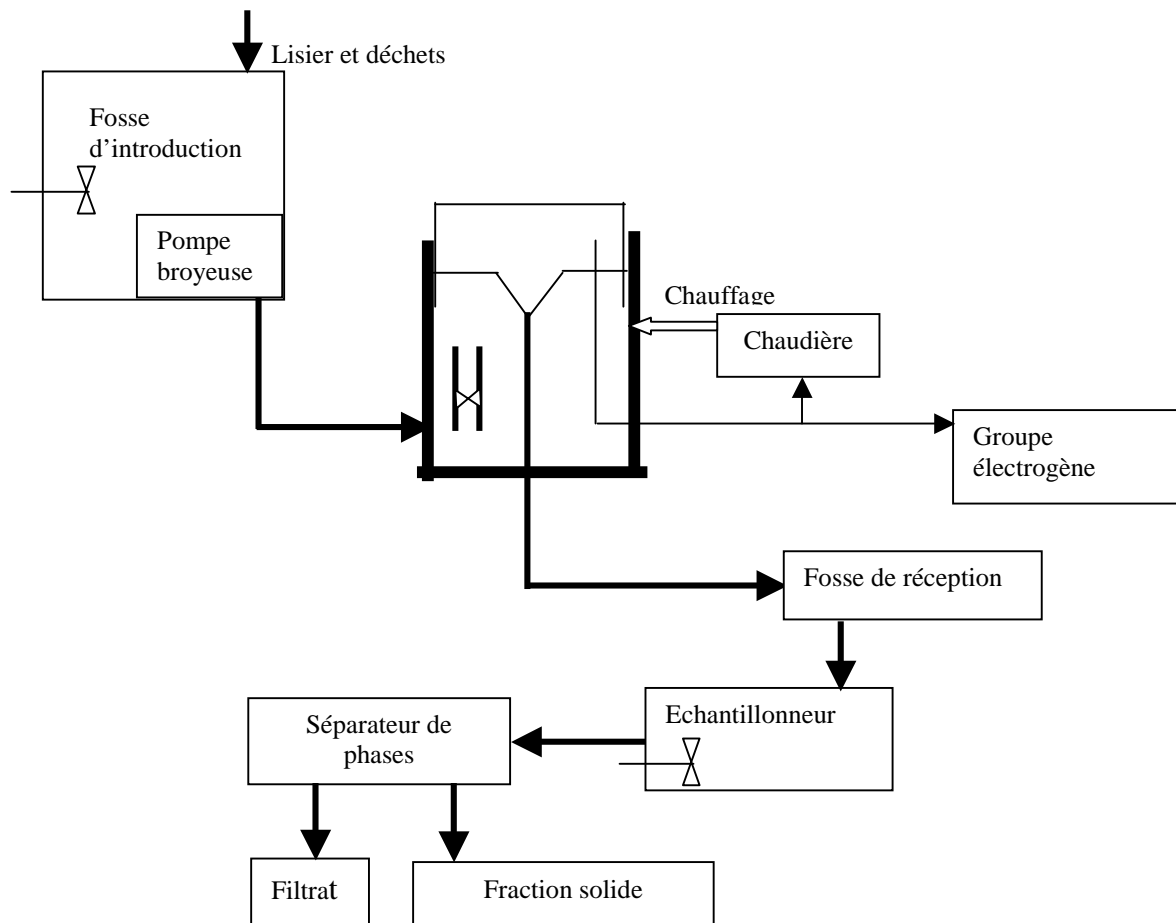


Figure 4.12 : Schéma de l'installation de Montardon

Le lisier est envoyé dans une fosse couverte de 15 m<sup>3</sup>. Le stockage est agité et évacué par une pompe broyeuse.

Le digesteur est un silo en béton calorifugé de 6 m de haut et de 5,5 m de diamètre et a un volume utile de 150 m<sup>3</sup>. Il est surmonté d'un gazomètre mobile métallique de 100 m<sup>3</sup>. A l'intérieur trois colonnes en triangle munies d'un agitateur mécanique à hélice qui assure l'homogénéisation. Les parois de ces colonnes sont chauffées pour assurer une bonne température. Une fosse de 60 m<sup>3</sup> permet un stockage avant le traitement du digestat.

Au niveau de l'échantillonneur, on peut avoir une récupération du digestat pour analyse.

Un séparateur de phase de type presse à vis réalise la récupération de la partie solide qui va subir un compostage aérobique. La partie liquide est stockée puis épandue sur du maïs en interligne sous le feuillage.

#### 4.5.2 : Caractéristiques de fonctionnement du digesteur

L'alimentation habituelle est de 13 à 15 m<sup>3</sup>/jour de lisier de porcs et de palmipèdes en raison d'un pourcentage de 80/20 respectivement. Des essais d'addition de déchets agricoles ont été réalisés.

Au lisier, des déchets provenant d'unités de séchage de maïs grains et d'épis de semence sont ajoutés. Ils sont constitués de glumes (enveloppe de grains de maïs), de grains concassés, de petits grains et en moindre proportion de morceaux de rafles ou de tiges. Ces déchets ont 75 % de matière sèche dont 97 % de matière volatile.

La température mésophile est de 38°C et le temps de séjour de 11 à 12 jours. C'est une fermentation qui est réalisée à quelques pourcents de matière sèche.

L'addition de lisier seul (13m<sup>3</sup>/j) a été comparée à l'introduction du lisier (idem 13 m<sup>3</sup>/j) avec 800 kg / jour de déchets. Les performances des deux systèmes sont reportées ci-dessous tableau 4.6.

	TSH (j)	Charge organique (1)	Rendement volumique (2)	Teneur en MS dans le digesteur	Production CH <sub>4</sub> (3)	Abattement matière (%)
Lisier seul 13 m <sup>3</sup> /J	11,1	1,13	0,58	1,1 %	298	66,1
Lisier + Déchet 800 Kg/j	12,5	3,8	1,78	2,4%	264	52,2

(1) kg MSV/m<sup>3</sup> de réacteur /jour

(2) Nm<sup>3</sup> /m<sup>3</sup> de réacteur /jour

(3) N litres de CH<sub>4</sub>/ kg MSV

Tableau 4.6. : Comparaison des performances de la digestion anaérobie de lisier et de lisier additionné des déchets agricoles.

Le maximum de matière sèche obtenu lors de l'addition des déchets est de 5,5%.

### 4.5.3. Caractérisation des effluents

Le digestat subit un post traitement qui sépare la fraction liquide et solide. Le rendement de séparation de la matière sèche est d'environ 22 % sur une grille de 150 µm.

Les compositions des différentes fractions après séparation sont reportées sur le tableau 4.7 .

Caractéristiques	Unités	Fraction liquide	Fraction solide	
			Brute	Maturée*
Eau	g/kg poids brut	983	772	692
Matière sèche	g/kg poids brut	17	228	307
Matière sèche volatile (MVS)	g/kg poids brut	11,05	160	193
Matière minérale	g/kg poids brut	5,95	67	114
NtK	g/kg MVS	198	43	42
N- NH <sub>4</sub>	g/kg MVS	186	3,61	0,83
N-NO <sub>3</sub>	g/kg MVS	Inf.10 <sup>-4</sup>	Inf.10 <sup>-4</sup>	0,72
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	g/kg MVS	36,92	110	128
K <sub>2</sub> O	g/kg MVS	48,82	12,2	19,5
*maturation aérobie en andains pendant 60 jours avec deux retournements				

Tableau 4.7 : Caractéristiques des effluents solides et liquide issus de la co-digestion lisier et déchets.

Le filtrat a une faible siccité et contient la majeure partie de l'azote initial sous forme de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

La fraction solide a une siccité de 22,7 % en MS et contient la majeure partie du phosphore soluble et une part de l'azote sous forme inorganique. Des fibres restent présentes ce qui facilite le compostage de la matière. Le produit présente des caractéristiques conformes à la norme NF 44-051.

*Castaing J., Pouech P., Coudure R., (2002) Digestion anaérobie de lisiers de porcs en mélange avec des déchets agro-industriels, Journées de la recherche porcine,34,pp195-202.*