

<b>ADEME</b> <b>REALISATION D'UN REFERENTIEL TECHNIQUE ET ECONOMIQUE D'UNITES DE TRAITEMENT DE DECHETS ORGANIQUES PAR METHANISATION AVEC ET SANS VALORISATION DU BIOGAZ</b>	<i>Référence dossier</i> <b>120114</b>	<i>Indice Révision</i> <b>B</b>
RAPPORT D'ETUDE Synthèse	<i>Statut</i> VALIDE	

**ADEME**

**REALISATION D'UN REFERENTIEL TECHNIQUE ET  
ECONOMIQUE D'UNITES DE TRAITEMENT DE DECHETS  
ORGANIQUES PAR METHANISATION AVEC ET SANS  
VALORISATION DU BIOGAZ**

**RAPPORT D'ETUDE**

<b>Synthèse</b>	Nom du fichier 105_GEN_ME_1_003_B _Synthèse_Rapport_d'étu de.doc
	Echelle -



**CABINET MERLIN**  
*Ingénieurs-Conseils*

6, Rue Grolée  
69289 LYON Cédex 02

Téléphone : 04-72-32-56-00  
Télécopie : 04-78 -38-37-85  
E-mail : cabinet-merlin@cabinet-merlin.fr



**erép**  
Traitement et valorisation  
de déchets et  
effluents organiques

Chemin du Coteau 28  
1123 ACLENS-SUISSE

Téléphone : 41-21-869-98-87  
Télécopie : 41-21-869-97-94  
E-mail : erep@iprolink.ch

0	S. MOUTET	JP. BUGEL	JM. CECCHI	24/07/03	Etablissement du document	VALIDE
A	S. MOUTET	JM. CECCHI	F. GIOUSE	25/09/03	Compléments	VALIDE
B	S. MOUTET	JP BUGEL	F GIOUSE	22/10/03-	Compléments	VALIDE
Ind	Etabli par	Vérifié par	Approuvé par	Date	Objet de la révision	Statut

<b>120114</b>	<table border="1"> <tr> <td><b>1</b></td><td><b>0</b></td><td><b>5</b></td> <td><b>G</b></td><td><b>E</b></td><td><b>N</b></td> <td><b>M</b></td><td><b>E</b></td> <td><b>1</b></td><td><b>0</b></td><td><b>0</b></td><td><b>3</b></td> <td><b>B</b></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Emetteur</td> <td colspan="3">Ouvrage ou Domaine Application</td> <td colspan="2">Nature du Document</td> <td>Etat</td> <td colspan="2">Numéro Chrono</td> <td>Rév.</td> </tr> </table>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>G</b>	<b>E</b>	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>E</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>B</b>	Emetteur			Ouvrage ou Domaine Application			Nature du Document		Etat	Numéro Chrono		Rév.
<b>1</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>G</b>	<b>E</b>	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>E</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>B</b>														
Emetteur			Ouvrage ou Domaine Application			Nature du Document		Etat	Numéro Chrono		Rév.															

<b>ADEME</b> <b>REALISATION D'UN REFERENTIEL TECHNIQUE ET ECONOMIQUE D'UNITES DE TRAITEMENT DE DECHETS ORGANIQUES PAR METHANISATION AVEC ET SANS VALORISATION DU BIOGAZ</b>	<i>Référence dossier</i> <b>120114</b>	<i>Indice Révision</i> <b>B</b>
RAPPORT D'ETUDE Synthèse	<i>Statut</i> VALIDE	

## 1 - OBJET

Le présent document a pour objet de synthétiser les principaux résultats issus de l'étude effectuée pour le compte de l'ADEME par le Cabinet MERLIN et EREP concernant la

### **"REALISATION D'UN REFERENTIEL TECHNIQUE ET ECONOMIQUE D'UNITES DE TRAITEMENT DE DECHETS ORGANIQUES PAR METHANISATION AVEC ET SANS VALORISATION DU BIOGAZ".**

Elle s'est déroulée sur les années 2002-2003 à l'issue desquelles un rapport d'étude a été établi (cf. Rapport d'étude 105 GEN ME 1 002 C).

Ce travail concerne l'étude de la méthanisation de plusieurs substrats :

- déchets ménagers et assimilés,
- boues de station d'épuration,
- déchets et effluents industriels,
- déchets et effluents agricoles,

dans cinq pays européens qui sont :

- l'Allemagne,
- le Danemark,
- la France,
- les Pays-Bas,
- et la Suisse.

Ses résultats sont issus, à la fois de recherches documentaires (bibliographie, constructeur) et d'une analyse des résultats observés sur des installations en fonctionnement dont le recueil a été réalisé au moyen de questionnaires adressés aux gestionnaires d'unités, ou lors de visites.

L'analyse a porté sur des critères techniques et économiques caractéristiques du parc d'installations en fonction des procédés utilisés, des produits traités et des contextes locaux (notamment en matière de valorisation de l'énergie issue du biogaz).

## 2 - SITUATION ACTUELLE DE LA METHANISATION

### 2.1 - CADRE REGLEMENTAIRE

#### 2.1.1 - ENERGIES RENOUVELABLES

##### - Au niveau européen

L'objectif fixé au niveau européen et formalisé dans le **Livre Blanc** élaboré en **1997** ("Energies pour l'avenir : les sources d'énergie renouvelables") est de doubler la part des énergies renouvelables dans le bilan énergétique entre 1997 et 2010.

Dans ce contexte, la méthanisation avec valorisation du biogaz produit (production d'énergie thermique et/ou électrique) a toute sa place parmi l'ensemble des diverses solutions de production d'énergies renouvelables en permettant d'atteindre deux objectifs complémentaires :

- . traiter des déchets,
- . produire conjointement au traitement des déchets une énergie qualifiée de renouvelable.

<b>ADEME</b> <b>REALISATION D'UN REFERENTIEL TECHNIQUE ET ECONOMIQUE</b> <b>D'UNITES DE TRAITEMENT DE DECHETS ORGANIQUES PAR</b> <b>METHANISATION AVEC ET SANS VALORISATION DU BIOGAZ</b>	<i>Référence dossier</i> <b>120114</b>	<i>Indice Révision</i> <b>B</b>
RAPPORT D'ETUDE Synthèse	<i>Statut</i> VALIDE	

- En Allemagne

**La loi sur les énergies renouvelables** (Erneuerbare Energien-Gesetz) du **29 mars 2000**

- . reprend l'objectif fixé par le Livre Blanc de multiplier par deux la part des énergies renouvelables dans le bilan énergétique,
- . fixe des tarifs de rachats des énergies renouvelables par les distributeurs et une obligation de reprise.

Toutefois, la libéralisation prochaine totale du marché de l'Electricité en Allemagne pourrait conduire à une diminution du coût de cette énergie ; s'en suivrait alors un problème de compétitivité pour l'électricité issue d'énergies renouvelables.

- Au Danemark

**La convention de réforme de l'électricité** (Electricity Reform Agreement) du **3 mars 1999** impose au consommateur l'achat d'une partie de leur électricité auprès de Distributeurs "prioritaires" se fournissant auprès de producteurs utilisant des énergies renouvelables.

Elle fixe de plus des quotas minimums d'électricité verte dans la consommation de manière à favoriser le développement des énergies renouvelables.

La loi sur l'électricité de **mai 1996** fixe des conditions particulièrement favorables à la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables (prime de rachat, détaxation ...).

- Aux Pays-Bas

Depuis **1993**, la production d'énergie renouvelable est fortement incitée par le biais d'une ambitieuse politique de défiscalisation qui met en place différents outils :

- . les fonds verts (taux d'intérêts privilégiés sur les investissements dits "verts"),
- . l'amortissement accéléré des investissements dans l'Environnement,
- . l'allègement fiscal sur les investissements dans les technologies d'économies d'énergie et des énergies renouvelables,
- . l'exemption des énergies renouvelables d'une taxe sur les énergies fossiles.

- En Suisse

**L'Ordonnance sur l'Energie** du **1<sup>er</sup> janvier 1999** soutient :

- . l'utilisation économe de l'énergie,
- . le recours aux énergies renouvelables,
- . la récupération des rejets de chaleur (usines d'incinération des ordures, STEP, installations industrielles ...).

Ainsi, la production d'électricité produite à partir d'énergie renouvelable bénéficie d'une obligation de reprise et de tarifs de rachats avantageux.

A la différence du Danemark, l'électricité "verte" est simplement proposée aux consommateurs, il n'existe pas de quota minimum à respecter dans l'approvisionnement.

- En France

**La loi relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité** en date du 20 février 2000 fixe notamment le cadre des conditions que doivent remplir les installations de production d'électricité à partir d'énergies renouvelables pour bénéficier de l'obligation d'achat par EDF. Les conditions de rachat de l'électricité produite à partir de biogaz issu de méthaniseur sont fixées par l'**Arrêté du 16 avril 2002**.

<b>ADEME</b> <b>REALISATION D'UN REFERENTIEL TECHNIQUE ET ECONOMIQUE</b> <b>D'UNITES DE TRAITEMENT DE DECHETS ORGANIQUES PAR</b> <b>METHANISATION AVEC ET SANS VALORISATION DU BIOGAZ</b>	<i>Référence dossier</i> <b>120114</b>	<i>Indice Révision</i> <b>B</b>
RAPPORT D'ETUDE Synthèse	<i>Statut</i> <b>VALIDE</b>	

#### - Production d'électricité à partir de biogaz

La Figure 2.A ci-dessous synthétise par pays les tarifs de base de rachat d'électricité produite à partir de biogaz issu d'une unité de méthanisation.

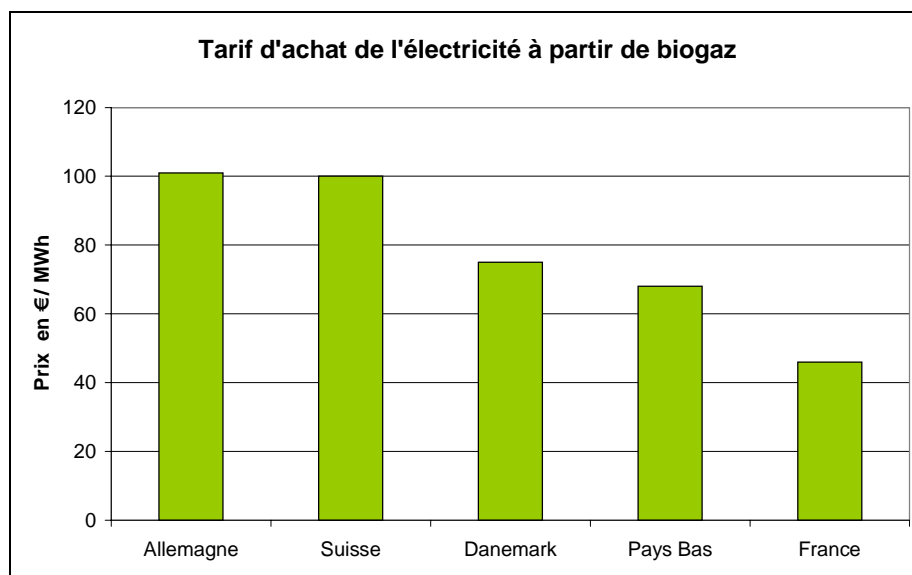


Figure 2.A : Tarifs de l'électricité produite à partir de biogaz de méthaniseur  
(D et CH : pour une puissance électrique inférieure à 500 kW<sub>e</sub>)

La lecture de ce bilan peut permettre d'expliquer en partie le constat établi par la suite (cf § 2.2 - ci-dessous) concernant le contexte français : comparé aux pratiques de nos voisins européens (niveau de prix, date de mise en application), le tarif français de rachat d'électricité produite par méthanisation ne constitue pas en soi un réel facteur d'incitation au développement de cette technique. En effet, seule la France n'a pas encore mis en place le concept d'"Electricité verte".

Le Danemark se caractérise par un fort développement de la cogénération permettant d'augmenter significativement les recettes de vente d'énergie (+50 à +150%).

#### - Injection du biogaz dans le réseau de gaz naturel

Concernant l'injection de biogaz dans le réseau de gaz naturel, il convient de noter qu'elle est autorisée dans les cinq pays étudiés, mais qu'elle n'est effectivement pratiquée qu'en Suisse et aux Pays-Bas.

### 2.1.2 - GESTION DES DECHETS

Les principaux textes réglementaires sont :

#### - Au niveau européen

- . la **Directive 75/442/CEE** du **15 juillet 1975** relative aux déchets,
- . la **Directive 1999/31/CEE** du **26 avril 1999** relative à la mise en décharge des déchets, qui fixe des objectifs de réduction de la part des déchets biodégradables mis en décharge.

#### - En Allemagne

- . la **Loi sur le recyclage et les déchets** de **1986**, qui concerne la mise en place des collectes sélectives des fermentescibles,
- . la **Loi sur les déchets urbains** de **1993**, qui définit une teneur maxi de MO dans les déchets urbains mis en décharge de 5% sur sec,
- . l'**Ordonnance sur les biodéchets** du **1<sup>er</sup> octobre 1998**, qui définit des traitements pour les biodéchets et leurs performances.
- . la **réglementation pour la mise en décharge** (AbfAbIV du 21 février 2001), qui définit les conditions d'admission des déchets issus d'un traitement mécano-biologique.

<b>ADEME</b> <b>REALISATION D'UN REFERENTIEL TECHNIQUE ET ECONOMIQUE</b> <b>D'UNITES DE TRAITEMENT DE DECHETS ORGANIQUES PAR</b> <b>METHANISATION AVEC ET SANS VALORISATION DU BIOGAZ</b>	<i>Référence dossier</i> <b>120114</b>	<i>Indice Révision</i> <b>B</b>
RAPPORT D'ETUDE Synthèse	<i>Statut</i> VALIDE	

- Au Danemark
  - . la **Loi sur la protection de l'Environnement** et l'**Ordonnance sur les déchets de 1999**, qui définissent des objectifs de traitement des déchets et des taxations sur les déchets incinérés ou stockés.
- Aux Pays-Bas
  - . l'**Environmental Management Act**", concerne la mise en place des collectes sélectives de biodéchets ménagers à compter du 1<sup>er</sup> janvier 1994,
  - . le **Programme "Separate Collection of Commercial and Industrial Waste"** de **1997**, qui concerne la mise en place des collectes sélectives de biodéchets issus des activités industrielles et commerciales et un objectif de 50% de recyclage de ces déchets,
  - . le **Plan national pour la gestion des déchets de 2002**, qui fixe des objectifs de valorisation des déchets de 75% en 2002 à 83% en 2012.
- En Suisse
  - . la **Loi sur la protection de l'Environnement du 7 octobre 1983**, qui préconise l'élimination des déchets dans des conditions respectueuses de l'Environnement,
  - . l'interdiction de la mise en décharge des déchets organiques ménagers et assimilés de **2001**.
- En France
  - . la **Loi du 13 juillet 1992**, qui fixe les principes de réduction à la source de la production de déchets, de réduction des transports, de valorisation, d'information, définition de la notion de "déchet ultime", limitation de la mise en décharge aux seuls déchets ultimes à compter de juillet 2002,
  - . la **Circulaire du 28 avril 1998**, qui définit qu'un minimum de 50% des déchets au sens large (y compris boues de stations d'épuration) devront à terme être recyclés, faire l'objet d'un traitement organique, ou d'un épandage agricole,
  - . la **Circulaire du 28 juin 2001**, relative à la gestion des déchets organiques.

Le Tableau 2.A récapitule pour chaque pays les contraintes applicables à la mise en décharge des déchets pour chaque pays. Associées aux divers textes d'application nationale, ces contraintes ont un fort impact sur les divers modes de traitement alternatifs à mettre en œuvre.

<b>Pays</b>	<b>Exigences sur la mise en décharge des déchets urbains</b>						
Europe	Par rapport aux tonnages de déchets biodégradables produit en 1995 ; réduction de la mise en décharge de ces déchets à : <table style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center; padding: 0 10px;">75%</td> <td style="text-align: center; padding: 0 10px;">50%</td> <td style="text-align: center; padding: 0 10px;">35%</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 0 10px;">en 2006</td> <td style="text-align: center; padding: 0 10px;">en 2009</td> <td style="text-align: center; padding: 0 10px;">en 2016</td> </tr> </table>	75%	50%	35%	en 2006	en 2009	en 2016
75%	50%	35%					
en 2006	en 2009	en 2016					
Allemagne	Moins de 5% sur sec de matière organique dans les déchets urbains ou moins de 18% de COT pour les déchets issus d'un traitement mécano-biologique						
Danemark	Existence d'une taxe (sur l'incinération ou le stockage) et d'un objectif de recyclage						
Pays Bas	Mise en décharge interdite						
Suisse	Mise en décharge interdite						
France	Mise en décharge limitée aux déchets « ultimes »						

Tableau 2.A : Résumé des conditions de mise en décharge dans les différents pays étudiés

<b>ADEME</b> <b>REALISATION D'UN REFERENTIEL TECHNIQUE ET ECONOMIQUE</b> <b>D'UNITES DE TRAITEMENT DE DECHETS ORGANIQUES PAR</b> <b>METHANISATION AVEC ET SANS VALORISATION DU BIOGAZ</b>	<u>Référence dossier</u> <b>120114</b>	<u>Indice Révision</u> <b>B</b>
RAPPORT D'ETUDE Synthèse	<u>Statut</u> VALIDE	

### 2.1.3 - VALORISATION DES DIGESTATS ET DES COMPOSTS

Actuellement, chaque pays possède ses propres contraintes en terme de qualité minimale des digestats et des composts en vue de leur valorisation. Ces contraintes peuvent varier en fonction de la qualité des produits à traiter (déchets ménagers, boues de station d'épuration) et du type de valorisation envisagé.

On peut cependant noter qu'au niveau européen, deux directives sont en cours d'élaboration :

- traitement biologique des déchets biodégradables (compostage, méthanisation, qualité des composts et digestats),
- utilisation des boues et de composts à base de boues d'épuration urbaines.

Certains pays tendent même vers une interdiction de l'épandage direct des boues de stations d'épuration (Suisse à compter de 2005).

### 2.1.4 - AUTRES CONTEXTES REGLEMENTAIRES INFLUENÇANT LE DEVELOPPEMENT DE LA METHANISATION

D'autres réglementations ont un impact sur le développement de la méthanisation. On peut en particulier mentionner :

- Gestion de l'eau – **Directive 91/271 du 21 mai 1991** qui vient renforcer les objectifs de collecte et de traitement des eaux usées issues tant des collectivités que du secteur industriel. Pour ces derniers, cette Directive a un fort impact puisque bien souvent, malgré un rejet dans un réseau d'assainissement public, elle les contraint à mettre en place in situ des installations spécifiques de traitement de leurs effluents. Or lorsque la qualité de leurs effluents le permet (pollution organique), les industriels sont généralement plus favorables à la digestion anaérobie (gain de place et possibilité de récupération d'énergie) qu'à des solutions alternatives aérobies.
- Renforcement des contraintes sur les rejets atmosphériques des installations de combustion – **Directive du 4 décembre 2000**. Ces nouvelles contraintes viennent augmenter les coûts de traitement des déchets par incinération, laissant ainsi une porte ouverte à des solutions de traitement alternatives pour la fraction organique dont la méthanisation fait partie intégrante.
- Réduction des émissions de gaz à effets de serre – initiée par le **Protocole de Kyoto**. Les contraintes fixées par ces accords constituent un moteur pour le développement de la méthanisation des déchets/effluents biodégradables à plusieurs titres :
  - comparée à une solution "stockage", la méthanisation offre un avantage incontestable en permettant de supprimer l'émission incontrôlée de méthane (gaz à effet de serre 21 fois plus puissant que le dioxyde de carbone) dans l'Environnement (sous réserve que le biogaz soit valorisé ou torché),
  - comparée à une solution "traitement aérobie" (notamment des effluents liquides tels que lisiers ou effluents industriels), la méthanisation est moins consommatrice d'énergie et peut générer par la même une réduction des consommations d'énergie fossile donc des émissions de dioxyde de carbone dans l'Environnement,
  - le biogaz produit par la méthanisation, s'il fait l'objet d'une valorisation, participe à la substitution des énergies fossiles (source de production de dioxyde de carbone) dans un bilan énergétique global.

## 2.2 - DEVELOPPEMENT DE LA METHANISATION

Ce développement peut se caractériser en considérant le type de méthanisation (un seul produit : digestion mono-produit ; plusieurs produits en mélange : codigestion), la valorisation du biogaz, ou le nombre d'installations répertoriées. On entend ici par produits les substrats objet de la présente étude.

<b>ADEME</b> <b>REALISATION D'UN REFERENTIEL TECHNIQUE ET ECONOMIQUE</b> <b>D'UNITES DE TRAITEMENT DE DECHETS ORGANIQUES PAR</b> <b>METHANISATION AVEC ET SANS VALORISATION DU BIOGAZ</b>	<i>Référence dossier</i> <b>120114</b>	<i>Indice Révision</i> <b>B</b>
RAPPORT D'ETUDE Synthèse	<i>Statut</i> <b>VALIDE</b>	

De l'étude du contexte de chaque pays, il ressort que chacun d'eux a orienté le développement du traitement par méthanisation de manière bien spécifique. Il est toutefois important de noter que sur l'ensemble des produits méthanisés, la part occupée par les boues de stations d'épuration en terme de capacité globale de traitement est de loin la plus importante quel que soit le pays considéré (le Danemark et son parc de grosses installations de codigestion centralisée mis à part).

La production de biogaz de méthaniseurs pour les différents secteurs considérés est représentée pour les différents pays dans la Figure 2.B ci-dessous.

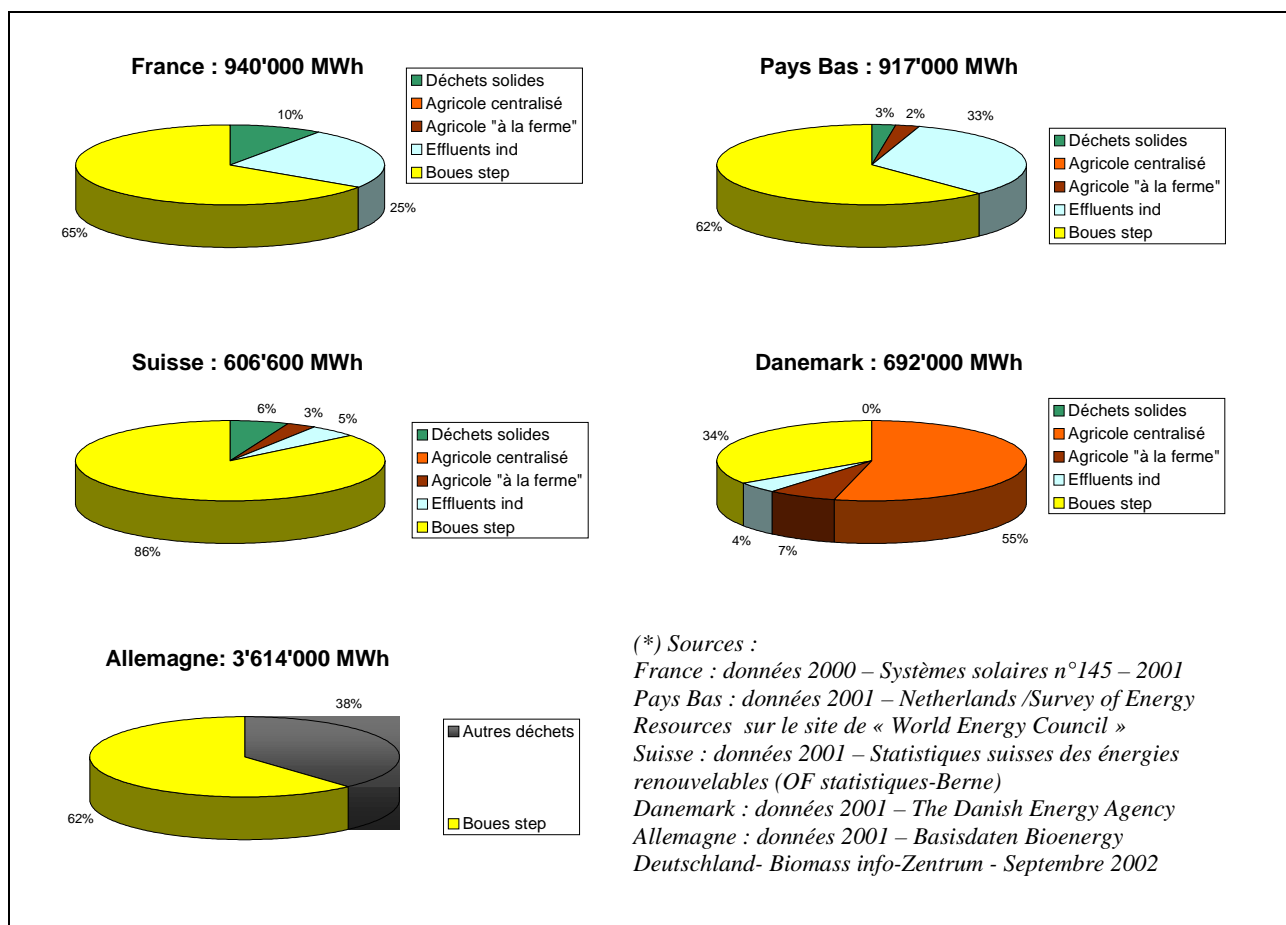


Figure 2.B : Production de biogaz (hors décharge) par secteur dans les pays étudiés

En **Allemagne**, la méthanisation concerne tous les produits en digestion mono-produit ou en co-digestion. Le parc des installations de méthanisation allemand se caractérise par une très forte proportion d'installations de méthanisation à la ferme (80% du total).

La forte incitation des pouvoirs publics à la production d'énergie verte fait que le biogaz produit est en général valorisé dans son intégralité sous forme d'énergie électrique revendue sur le réseau.

Parmi les 5 pays étudiés, l'**Allemagne** est en tête pour la production de biogaz en valeur absolue et pour le nombre d'installation.

Au **Danemark**, la méthanisation des déjections animales s'est développée au travers du programme de codigestion centralisée avec comme priorité la production d'énergie renouvelable. Ces installations de codigestion optimisent leur production de biogaz en incorporant dans les limites réglementaires, une grande variété de cosubstrats à fort pouvoir méthanogène en provenance de l'industrie (IAA, abattoir, etc). Le biogaz est systématiquement valorisé avec une prédominance pour les installations de cogénération.

<b>ADEME</b> <b>REALISATION D'UN REFERENTIEL TECHNIQUE ET ECONOMIQUE</b> <b>D'UNITES DE TRAITEMENT DE DECHETS ORGANIQUES PAR</b> <b>METHANISATION AVEC ET SANS VALORISATION DU BIOGAZ</b>	<i>Référence dossier</i> <b>120114</b>	<i>Indice Révision</i> <b>B</b>
RAPPORT D'ETUDE Synthèse	<i>Statut</i> <b>VALIDE</b>	

La digestion mono-produit des boues de station d'épuration est également développée (54% des installations) même si la majeure partie du biogaz (53%) est produit par les installations de codigestion centralisée.

Parmi les 5 pays étudiés, le **Danemark** est en tête pour le ratio production de biogaz / nombre d'habitants.

En **France**, la méthanisation s'est développée de manière excessivement sectorielle à des fins essentiellement de traitement des déchets plutôt que de production d'énergie. C'est ainsi que les installations de méthanisation françaises traitent bien souvent un unique produit (ex : effluent issu du procédé du seul site industriel considéré) ne profitant alors pas des synergies possibles permises par la codigestion.

La méthanisation en France concerne quasiment uniquement les effluents industriels et les boues de station d'épuration pour lesquelles dans la majorité des cas le potentiel énergétique global de la filière n'est pas ou peu valorisé.

Aux **Pays-Bas**, la méthanisation s'est essentiellement développée pour les déchets industriels et les boues de station d'épuration de manière relativement sectorielle avec une forte incitation à la valorisation de l'énergie produite. Pour les autres types de produits et notamment les déchets ménagers, le compostage a été favorisé.

En **Suisse**, le choix a été fait, dans le but premier de réduire les transports de déchets, de réaliser de petites installations de méthanisation et ce quel que soit le substrat considéré. La méthanisation est bien représentée pour le traitement de chaque catégorie de produit, avec quant même une forte prédominance pour les boues de stations d'épuration si l'on considère le nombre d'installations (74%).

**De l'analyse de ce contexte, il ressort que pour tous les pays étudiés à l'exception de la France, le développement certain qu'a connu la méthanisation peut en partie s'expliquer par :**

- **des orientations réglementaires fortes suivies par des programmes d'incitation financière ambitieux (subventions diverses et tarifs de rachat de l'Energie),**
- **des programmes de développement technique et une capitalisation des expériences par des organismes spécialisés indépendants ou d'Etat (ex : Fachverband Biogas en Allemagne, Direction des affaires économiques pour l'Agriculture et la Pêche au Danemark).**

### 3 - SOLUTIONS TECHNIQUES DE METHANISATION DISPONIBLES

A ce jour, les références de réalisations et les constructeurs à l'échelle européenne sont nombreux et permettent d'asseoir la méthanisation comme l'une des techniques de traitement et de valorisation éprouvées pour chacun des types de produit considérés seuls ou en mélange.

Les technologies disponibles sont :

- **CSTR** (Completely Stirred tank Reactor) : le produit dans le digesteur est continuellement brassé, une recirculation de digestat est généralement réalisée.
- **UASB** (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) : Digesteur dans lequel le produit traverse un lit de boues anaérobies maintenu en suspension par le flux ascendant.
- **IC** (Internal Circulation) : Même principe que le digesteur UASB, mais mettant en plus en jeu un système de recirculation interne de l'effluent au sein du lit de boues.
- **Piston** : Digesteur horizontal, ou vertical dans lequel le flux de substrat entrant fait progresser celui ayant été introduit juste au préalable. En général un système de brassage mécanique, hydraulique, ou pneumatique permet l'homogénéisation séquentielle de la masse en digestion.
- **Batch** : Procédé dans lequel un digesteur est rempli et vidé totalement en une seule opération (nécessité de plusieurs digesteurs fonctionnant en parallèle).
- **Percolation** : Procédé dans lequel une aspersion des déchets est réalisée, permettant la récupération des éléments solubles issus de l'hydrolyse de ces mêmes déchets. Le percolat est ensuite introduit dans un digesteur adapté.

<b>ADEME</b> <b>REALISATION D'UN REFERENTIEL TECHNIQUE ET ECONOMIQUE</b> <b>D'UNITES DE TRAITEMENT DE DECHETS ORGANIQUES PAR</b> <b>METHANISATION AVEC ET SANS VALORISATION DU BIOGAZ</b>	<i>Référence dossier</i> <b>120114</b>	<i>Indice Révision</i> <b>B</b>
RAPPORT D'ETUDE Synthèse	<i>Statut</i> VALIDE	

- **Contact** : Procédé mettant en jeu un digesteur CSTR (infiniment mélangé) suivi d'une décantation du digestat et d'une recirculation des boues décantées dans le digesteur.
- **Lit fluidisé** : Digesteur dans lequel la biomasse anaérobie est fixée sur des particules maintenues en suspension (lit fluidisé) par la vitesse ascensionnelle de l'effluent.
- **Filtre anaérobie** : Digesteur dans lequel la biomasse anaérobie est fixée sur un support statique.

Le Tableau 3.A ci-dessous récapitule pour chaque produit :

- les caractéristiques du produit et le type de prétraitement avant digestion
- les technologies de digestion les plus couramment rencontrées avec le nombre de fournisseurs potentiels et la charge maxi admissible
- les coûts d'investissement spécifiques et les coûts de traitement spécifiques

Catégorie	Type	MS initiale	pré-traitement	MS intro.	Technologie	Nb Fournisseurs	Charge maxi	Investis.	Coût (*) traitement			
Boues	Boues I, II (+co-S)	0.5%	épaissement (broyage, pulpage)	4-10%	CSTR	9	kg MO/m3.j	Euro/tMS	Euro/t MS			
		variable					10 000 EH	2000-3000	300-400			
Déjections animales	Lisier	5-10%		5-10%	CSTR à la ferme	10	5 kg/m3.j	3'000-4'000	5 - 15			
					CSTR centralisé	11						
	co-S	5-90%	Hygiénisation* broyage	5-10%	piston liquide à la ferme	9	5 kg/m3.j	4'000-5'000	5 - 15			
					bi-étape centralisé	3						
	Fumier	10-25%	Hygiénisation* broyage	15-30%	Batches secs à la ferme	2		12 000	-			
+ co-S	5-90%											
Déchets solides	Biodéchets	20-40%	Tri/broyage	20-40%	Piston sec	4	8-10 kg/m3	550-750	90			
			Dilution/pulpage	8-12%	CSTR liquide (Bi-étape)	6	5-8kg/m3	400-500				
	OM Grises ou Totales	50-70%	Tri / broyage Dilution	20-40%	Piston sec	4	8-10 kg/m3	550-750	90			
			Tri (broyage)	50-70%	Batches	1		250-350	45-65			
					Percolation	2		250-350	45-65			
	D. agro-alim D. restaurants	10-20%	Hygiénisation/ Pulpage	10-12%	CSTR liquide	6	5 kg/m3	400-500				
					Bi-étape	6	10 kg/m3	??				
<b>MES intro</b>												
Effluents industriels							g/l	kg DCO/m3.j	Euro / t DCO	Euro / t DCO		
							> 10 g/l	CSTR	4	3 kg/m3	1000-5000	200-1000
								contact	4	5 kg/m3		
							5 - 10 g/l	lit fluidisé	3	20-40 kg/m3		
								UASB	6	15 kg/m3		
								IC	2	20-40 kg/m3		
								lit fluidisé	3	20-40 kg/m3		
								filtre anaérobie	4	10 kg/m3		
							< 5 g/l	UASB	6	15 kg/m3		
								IC	2	30 kg/m3		

(\*) : coût du traitement hors recettes  
(\*\*) : coût de traitement net (inclus recettes)

**Tableau 3.A : Synthèse des procédés**

Pour les indicateurs économiques, les unités utilisées correspondent à la vocation première de l'installation (traitement ou production d'énergie).

Dans le cadre de la présente synthèse, les domaines de validité, ainsi que les éléments financiers associés à chacun des procédés sont fournis à titre indicatif et correspondent aux valeurs moyennes annoncées.

<b>ADEME</b> <b>REALISATION D'UN REFERENTIEL TECHNIQUE ET ECONOMIQUE</b> <b>D'UNITES DE TRAITEMENT DE DECHETS ORGANIQUES PAR</b> <b>METHANISATION AVEC ET SANS VALORISATION DU BIOGAZ</b>	<i>Référence dossier</i> <b>120114</b>	<i>Indice Révision</i> <b>B</b>
RAPPORT D'ETUDE Synthèse	<i>Statut</i> VALIDE	

L'analyse du tableau ci-dessus et des informations émanant des sites enquêtés dans le cadre de la présente étude amène les commentaires suivants quant au choix des procédés.

**- Boues de stations d'épuration**

Les boues destinées à une méthanisation sont des boues liquides ayant au préalable subi une opération d'épaississement, portant leur taux de Matière Sèche à environ 5%. Cette étape est rendue nécessaire pour des raisons économiques (réduction du volume de digestion et de la quantité de produit à maintenir en température).

Compte tenu de la grande homogénéité de siccité des boues à méthaniser sur les installations, tous les procédés rencontrés sont de type CSTR.

**- Déjections animales**

Rares sont aujourd'hui les installations ne traitant que des déjections animales. Dans la quasi-totalité des cas, ces dernières sont traitées en co-digestion mélangées à des co-substrats (Co-S). On retiendra que les process les plus couramment utilisés pour des lisiers sont les mêmes que pour les boues de stations d'épuration (CSTR) et qu'à mesure que la siccité augmente (due aux cosubstrats ou à des fumiers relativement secs), on peut rencontrer des procédés piston, voire en batch solide.

**- Déchets solides (ménagers ou industriels)**

Deux grands types de procédés se partagent le marché en fonction du type de préparation des déchets entrants : Les procédés que l'on qualifie de "liquides", dont la technologie s'apparente au CSTR des boues de stations d'épuration et les procédés dits "secs" utilisant généralement la technologie du piston.

Dans tous les cas, la nature des produits nécessite des étapes de prétraitement (tri, broyage, ajout d'eau ou d'effluents recyclés ...). On peut noter que dans le cas des procédés liquides, ces prétraitements doivent être particulièrement poussés, afin de protéger les installations avalées (pompages ...).

**- Effluents industriels**

A la différence des produits précédemment évoqués, les effluents industriels se caractérisent généralement par une charge soluble importante dans laquelle la biomasse n'est pas spontanément présente. A l'exception du réacteur infiniment mélangé utilisé pour les effluents à forte charge en MES, les technologies mises en œuvre font appel à des systèmes de « rétention » de biomasse :

- les procédés à biomasse floculée ou granulaire (contact anaérobie, UASB, IC) : recirculation de la biomasse active
- les procédés à biomasse fixée (filtre anaérobie, lit fluidisé) : fixation de la biomasse active sur un support

Ce principe de « rétention » de biomasse permet de limiter le temps de séjour (de l'ordre de quelques heures) tout en maintenant des taux d'abattement de la DCO très importants (jusqu'à 90%).

Il est parfois nécessaire de prévoir des prétraitements consistant à réchauffer, à tamponner l'effluent (flux et/ou concentrations) ou à initier la phase d'acidogénèse.

<b>ADEME</b> <b>REALISATION D'UN REFERENTIEL TECHNIQUE ET ECONOMIQUE</b> <b>D'UNITES DE TRAITEMENT DE DECHETS ORGANIQUES PAR</b> <b>METHANISATION AVEC ET SANS VALORISATION DU BIOGAZ</b>	<i>Référence dossier</i> <b>120114</b>	<i>Indice Révision</i> <b>B</b>
RAPPORT D'ETUDE Synthèse	<i>Statut</i> VALIDE	

## 4 - SYNTHESE DE L'ANALYSE DU RETOUR DES QUESTIONNAIRES

Les données récapitulées ci-dessous sont issues de l'analyse des retours des questionnaires adressés à des sites de méthanisation en fonctionnement.

Sur 470 questionnaires envoyés, une centaine a été retournée au Cabinet MERLIN et à EREP (taux de retour : 22%).

Les tableaux suivants présentent une comparaison de certains ratios techniques et économiques issus de l'analyse en fonction des catégories de produit.

Ces ratios sont établis sur la base des informations indiquées par les Exploitants dans les questionnaires après vérifications et recalage le cas échéant. Ils doivent être considérés comme des valeurs réelles de fonctionnement et non comme des valeurs de design (il n'a en effet pas été possible de connaître les bases de dimensionnement initiales de ces unités).

**A chacune de ces valeurs est associé un certain nombre de commentaires indispensables à leur interprétation.**

**Les commentaires détaillés sont disponibles dans le corps du texte du rapport d'étude.**

### 4.1 - SYNTHESE TECHNIQUE

De l'analyse des résultats de l'enquête, il ressort que l'on peut retenir les valeurs guides suivantes :

#### - **Boues de stations d'épuration**

Les données recueillies pour les boues de station d'épuration se caractérisent par une forte homogénéité quels que soient le pays considéré ou la capacité de traitement de la station.

Dans la quasi-totalité des cas, les boues méthanisées sont constituées d'un mélange de boues primaires et secondaires, voire de boues physico-chimiques, ayant au préalable subi une opération d'épaississement portant leur **siccité entre 4 et 5% (MO : 70%MS)**.

Dans tous les cas, la technologie de digesteur utilisée est celle du **CSTR**. Les charges observées pour des installations de conception ancienne sont de **1.2 kgMO/m<sup>3</sup> digesteur/j** (de 0.5 à 2.2) correspondant à un temps de séjour moyen de **30 jours**. Pour de nouvelles installations la charge maximale utilisée pour le dimensionnement est de **3 kgMO/m<sup>3</sup> digesteur/j**.

En terme d'efficacité de traitement, les **taux d'abattement** sont de **38% pour la MS** et de **55% sur la MO**, ce qui offre un avantage tout particulier en terme de quantités finales de boues à évacuer de la station (limitation de coûts liés au transport, à l'épandage, ou au traitement ultérieur).

La production de méthane s'élève à **550 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/tMS** ou **MO abattue** avec une teneur moyenne en méthane du biogaz de **64%**.

D'une manière générale, le taux d'utilisation du biogaz est fonction du mode de valorisation. Il a ainsi pu être mis en évidence que les stations produisant de l'électricité avaient un taux d'utilisation de leur biogaz nettement supérieur à celle ne produisant que de la chaleur (respectivement 94 et 54% d'utilisation du biogaz produit). En terme de valorisation énergétique, il ressort que la production électrique à partir du biogaz sur une station d'épuration peut s'élever à **1.75 kWh<sub>él</sub>/Nm<sup>3</sup> Bz utilisé** (rendement 25 à 30%) et à **5.6 kWh<sub>th</sub>/Nm<sup>3</sup> Bz utilisé** (rendement 85 à 90%) dans le cas d'une valorisation thermique seule.

#### - **Déchets ménagers**

Les installations ayant répondu à l'enquête méthanisent toutes des **biodéchets** issus de collectes sélectives (à l'exception d'une qui traite des ordures ménagères résiduelles) caractérisés en moyenne par un **taux de siccité de 40%** et un **taux de MO de 64%MS**.

L'analyse des données n'a pu mettre en évidence de valeurs spécifiques aux procédés "liquides" ou aux procédés "secs", tous deux représentés dans le panel des installations participantes. Les charges appliquées sont de **10 à 12 kgMO/m<sup>3</sup> digesteur/j** en régime **thermophile** et de **6 à 8 en régime mésophile**.

<b>ADEME</b> <b>REALISATION D'UN REFERENTIEL TECHNIQUE ET ECONOMIQUE</b> <b>D'UNITES DE TRAITEMENT DE DECHETS ORGANIQUES PAR</b> <b>METHANISATION AVEC ET SANS VALORISATION DU BIOGAZ</b>	<i>Référence dossier</i> <b>120114</b>	<i>Indice Révision</i> <b>B</b>
RAPPORT D'ETUDE Synthèse	<i>Statut</i> <b>VALIDE</b>	

En terme de d'efficacité du traitement on peut retenir, malgré le faible nombre de valeur, que la méthanisation réduit de 30% la MS initialement présente dans les biodéchets à méthaniser.

La production de méthane s'élève à **240 Nm<sup>3</sup><sub>Bz</sub>/tMS<sub>introduite</sub>** (**370 Nm<sup>3</sup><sub>Bz</sub>/tMO<sub>introduite</sub>**) avec une teneur moyenne en méthane du biogaz de **59%**.

Le taux d'utilisation du biogaz sur les installations du panel est en général élevé (> 95%), principalement pour la production d'énergie électrique. En terme de valorisation énergétique, on peut retenir que la productivité électrique de **1.76 kWh<sub>él</sub>/Nm<sup>3</sup><sub>Bz</sub> utilisé** (rendement : 29%).

#### - **Effluents industriels**

Les données présentées ci-après correspondent à celles issues des installations industrielles équipées de digesteurs dits "Haute Performance" (UASB, IC, lit fixé ...). Il n'a pas pu être déterminé de règles générales quant à la charge admissible des digesteurs compte tenu de la grande hétérogénéité des substrats et des procédés (de 5 à 32 kgDCO/m<sup>3</sup>/j).

On peut toutefois retenir les valeurs guides suivantes en terme d'efficacité de traitement :

Taux d'abattement : **77% sur DCO**.

Productivité en méthane : **270 Nm<sup>3</sup><sub>CH<sub>4</sub></sub>/tDCO<sub>entrante</sub>** avec une teneur de 75 à 80% de méthane dans le biogaz.

#### - **Déchets et effluents agricoles**

Le panel des installations de méthanisation de déchets et effluents agricoles a pu être décomposé en deux groupes : les installations de traitement monoproduit et les installations de codigestion.

Pour ces dernières, compte tenu du contexte bien particulier, celles implantées au Danemark ont fait l'objet d'une analyse spécifique.

*Digestion agricole monoproduit* : Le très faible nombre de valeurs analysables rend la généralisation des résultats hasardeuse. Les seules valeurs obtenues sont conformes aux valeurs de référence (bibliographie) : productivité en biogaz de **20 Nm<sup>3</sup><sub>Bz</sub>/m<sup>3</sup><sub>introduit</sub>** avec une teneur en méthane de **65%**.

*Codigestion agricole hors Danemark (Allemagne et Suisse)* : Pour ces installations, les entrants et les technologies n'ayant pas pu être caractérisés avec précision, les règles générales sont difficiles à établir. On retiendra que les temps de séjour sont relativement longs (entre 50 et 100 jours) pour les installations de faible, voire très faible capacité (< 5 000 t/an) et plus faibles à mesure que la capacité de traitement augmente (de 20 à 50 jours pour des installations entre 20 000 et 100 000 t/an). La productivité en biogaz est très variable en fonction de la nature et des quantités des coproduits utilisés (de 20 à 80 Nm<sup>3</sup><sub>Bz</sub>/m<sup>3</sup><sub>introduit</sub>).

Le biogaz produit est dans tous les cas valorisé par production d'électricité ou en cogénération avec les productivités suivantes : **1.84 kWh<sub>él</sub>/Nm<sup>3</sup><sub>Bz</sub> utilisé** (rendement : 30%) et **3.28 kWh<sub>th</sub>/Nm<sup>3</sup><sub>Bz</sub> utilisé** (rendement : 50%) pour l'énergie thermique en cogénération.

*Codigestion agricole centralisée au Danemark* : Comparé au panel précédent, ces installations sont de capacité nettement supérieure (de 20 000 à 170 000 t/an avec une moyenne aux alentours de 80 000 t/an). Pour toutes ces installations la technologie utilisée est de type CSTR.

Toutes les installations de codigestion danoises ont été dès le départ prévues pour traiter en mélange des déjections animales et des co-produits à fort pouvoir méthanogène dans un souci de production énergétique.

L'hétérogénéité des co-substrats utilisés ne permet pas de conclure à des règles de productivité de biogaz. Il ressort cependant que sur ces installations, elle est en moyenne de **49 Nm<sup>3</sup><sub>Bz</sub>/m<sup>3</sup><sub>introduit</sub>** (soit 2,4 fois la productivité observée avec des déjections seules) avec une **teneur en méthane de 65%**.

Ces productivités sont obtenues pour un temps de séjour moyen de 21 j en régime mésophile et de 15 j en régime thermophile.

En terme de valorisation énergétique, les valeurs suivantes peuvent être retenues :

**Energie électrique : 2.27 kWh<sub>él</sub>/Nm<sup>3</sup><sub>Bz</sub> utilisé** (rendement : 35%)

**Energie thermique : 3.19 kWh<sub>th</sub>/Nm<sup>3</sup><sub>Bz</sub> utilisé** sur cogénération (rendement : 47%)

<b>ADEME</b> <b>REALISATION D'UN REFERENTIEL TECHNIQUE ET ECONOMIQUE</b> <b>D'UNITES DE TRAITEMENT DE DECHETS ORGANIQUES PAR</b> <b>METHANISATION AVEC ET SANS VALORISATION DU BIOGAZ</b>	<i>Référence dossier</i> <b>120114</b>	<i>Indice Révision</i> <b>B</b>
RAPPORT D'ETUDE Synthèse	<i>Statut</i> VALIDE	

## - Synthèse

Catégorie	Taux de dégradation	Productivité en biogaz	Teneur en méthane du biogaz	Dimensionnement digesteur	Productivité en énergie électrique	Productivité en énergie thermique
Boues	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t			kg MO/m <sup>3</sup> /j	kWh/Nm <sup>3</sup> biogaz	kWh/Nm <sup>3</sup> biogaz en chaudière
	55% sur MO de 46 à 70%	550 Nm <sup>3</sup> /tMO <sub>abattu</sub> de 440 à 650	64% de 55 à 70%	<b>Installation nouvelle maxi : 3 kgMO/m<sup>3</sup>/j</b> <b>Installation ancienne 1.2 kgMO/m<sup>3</sup>/j de 0.5 à 2.2</b>	1.75 kWh/Nm <sup>3</sup> de 1.2 à 2.5 Rendement de 20 à 37%	5.6 kWh/Nm <sup>3</sup> de 5.4 à 6.3 Rendement de 85 à 90%
Déchets ménagers	Nm <sup>3</sup> biogaz/t			kg/m <sup>3</sup> /j	kWh/Nm <sup>3</sup> biogaz	kWh/Nm <sup>3</sup> biogaz en cogénération
	30% sur MS de 22 à 36%	240 Nm <sup>3</sup> /tMS <sub>entrant</sub> de 176 à 327 370 Nm <sup>3</sup> /tMO <sub>entrant</sub> de 272 à 460	59% de 50 à 64%	<b>Mésophile :</b> 6 à 8 kgMO/m <sup>3</sup> /j <b>Thermophile :</b> 10 à 12 kgMO/m <sup>3</sup> /j	1.76 kWh/Nm <sup>3</sup> de 1.2 à 2.3 Rendement de 20 à 37%	3.0 kWh/Nm <sup>3</sup> de 2.6 à 3.5 Rendement global de cogénération de 80 à 90%
Effluents industriels	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t			kg/m <sup>3</sup> /j	-	-
	77% sur DCO de 66 à 91%	270 Nm <sup>3</sup> /tDCO <sub>entrant</sub> de 150 à 360	de 75 à 80%	<b>Très variable</b> suivant procédé et effluent 5 à 32 kgDCO/m <sup>3</sup> /j	-	-
Déjections animales en codigestion hors Danemark	Nm <sup>3</sup> biogaz/m <sup>3</sup>				kWh/Nm <sup>3</sup> biogaz	kWh/Nm <sup>3</sup> biogaz en cogénération
	-	Très variable suivant cosubstrat 20 à 80 Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>entrant</sub>	52.5% de 50 à 71%	Très variable suivant cosubstrat et type de procédé	1.84 kWh/Nm <sup>3</sup> de 1.57 à 2.14 Rendement de 25 à 33%	3.28 kWh/Nm <sup>3</sup> de 3.0 à 3.5 Rendement de 49 à 57%
Déjections animales en codigestion au Danemark	Nm <sup>3</sup> biogaz/m <sup>3</sup>			Temps de séjour en j	kWh/Nm <sup>3</sup> biogaz	kWh/Nm <sup>3</sup> biogaz en cogénération
	-	48.5 Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>entrant</sub> de 25 à 112 suivant cosubstrat	65.4% de 60 à 71%	<b>Mésophile : 21 j</b> de 18 à 26 <b>Thermophile : 15 j</b> de 10 à 20	2.27 kWh/Nm <sup>3</sup> de 1.95 à 2.52 Rendement de 33 à 40%	2.9 à 3.5 kWh/Nm <sup>3</sup> Rendement global de cogénération environ 82%

Tableau 4.A : Synthèse de l'analyse technique des questionnaires

## 4.2 - SYNTHESE ECONOMIQUE

L'analyse des données économiques a été faite en fixant pour toutes les installations les hypothèses suivantes :

- Actualisation du montant des investissements entre la date de construction et l'année 2003 au taux de 2% par an
- Non prise en compte des aides et subventions à l'investissement pour le calcul du coût de traitement
- Amortissement de l'investissement au taux de 6% sur 15 ans
- Coût global de traitement (I + E) : somme de l'amortissement (I) et des dépenses d'exploitation (E)
- Coût net de traitement (I + E - V) : somme de l'amortissement (I) et des dépenses d'exploitation (E) et déduction faite des recettes (V)

### - Boues de stations d'épuration

Contrairement aux données techniques, les données économiques recueillies sont peu nombreuses, incomplètes et très disparates, rendant l'analyse aléatoire voir impossible. Les exploitants ne sont généralement pas en mesure de déterminer les coûts propres de la digestion qui ne constitue qu'une

<b>ADEME</b> <b>REALISATION D'UN REFERENTIEL TECHNIQUE ET ECONOMIQUE</b> <b>D'UNITES DE TRAITEMENT DE DECHETS ORGANIQUES PAR</b> <b>METHANISATION AVEC ET SANS VALORISATION DU BIOGAZ</b>	<i>Référence dossier</i> <b>120114</b>	<i>Indice Révision</i> <b>B</b>
RAPPORT D'ETUDE Synthèse	<i>Statut</i> VALIDE	

étape du traitement des boues dans l'ensemble d'une station d'épuration. On retiendra alors comme valeurs guides, les données issues du Tableau 3.A ci-dessus.

#### **- Déchets ménagers**

Les montants communiqués (investissement et exploitation) sont en général partiels : information non fournie (génie civil), unité fonctionnelle inexistante ou « non nécessaire » (traitement du digestat, valorisation du biogaz existante). Cette disparité dans la « composition » des installations ne permet pas d'obtenir une analyse fiable de ces données. Les éléments mentionnés ci-dessous ont été obtenus en extrapolant les données recueillies à une installation complète comprenant le prétraitement des déchets, la digestion, le traitement du digestat (obtenir un amendement organique) et la valorisation du biogaz.

L'analyse de ces données recalées montre alors que les coûts spécifiques pour une installation de méthanisation de biodéchets sont principalement liés à la capacité de traitement. On retiendra les fourchettes suivantes comme valeurs guide :

	Capacité inférieure à 10 000 t/an	Capacité entre 10 000 et 30 000 t/an	Capacité supérieure à 30 000 t/an
<b>Investissement</b>	600 à 1 200 €/t	600 à 1 000 €/t	500 à 800 €/t
<b>Coût traitement global hors subv.&amp; recette</b>	110 à 190 €/t	100 à 170 €/t	80 à 150 €/t

On note également que le coût spécifique du procédé « liquide » est en général inférieur au coût spécifique du procédé « sec ».

Faute d'indication sur les recettes, le coût net de traitement n'a pas pu être évalué selon la méthodologie proposée. Toutefois sur la base des coûts nets annoncés (de 54 à 120 €/t soit en moyenne 90 €/t), on retiendra que le coût net de traitement est estimé pour une installation complète entre 70 à 150 €/t suivant la taille et type d'installation.

Les valeurs indiquées ci-dessus sont en général supérieures aux valeurs de références habituelles (Tableau 3.A) compte tenu des éléments suivants :

- Prise en compte de la globalité de l'installation (recalage)
- Financement moins favorables que les conditions réelles (annuités, hors subvention)
- Valeurs exprimées par rapport au tonnage réellement traité généralement inférieur à la capacité de l'installation (montée en charge)

#### **- Effluents industriels**

Comme pour les stations d'épuration, les données économiques sont difficiles à obtenir dans la mesure où les installations de méthanisation d'effluents industriels constituent en général une étape de traitement des effluents.

La forte hétérogénéité du panel en terme de produit traité et de technologie mise en œuvre se traduit par une dispersion importante des ratios économiques. On retiendra cependant les valeurs guides suivantes (exprimées par rapport au flux de DCO entrant) :

	<b>Moyenne</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
<b>Investissement</b>	2 500 €/tDCO	1 000 €/tDCO	5 000 €/tDCO
<b>Dépenses d'exploitation</b>	170 €/tDCO	75 €/tDCO	340 €/tDCO
<b>Coût traitement global hors subv.&amp; recette</b>	350 €/tDCO	210 €/tDCO	560 €/tDCO

Le nombre de données relatives aux recettes est trop faible pour permettre une analyse représentative. On notera qu'il s'agit à proprement parler de gains en terme d'exploitation par substitution d'énergie et diminution des redevances en matière de rejets liquides.

<b>ADEME</b> <b>REALISATION D'UN REFERENTIEL TECHNIQUE ET ECONOMIQUE</b> <b>D'UNITES DE TRAITEMENT DE DECHETS ORGANIQUES PAR</b> <b>METHANISATION AVEC ET SANS VALORISATION DU BIOGAZ</b>	<i>Référence dossier</i> <b>120114</b>	<i>Indice Révision</i> <b>B</b>
RAPPORT D'ETUDE Synthèse	<i>Statut</i> VALIDE	

### - Déchets et effluents agricoles

#### Digestion agricole monoproduit

Le très faible nombre de valeurs analysables rend la généralisation des résultats hasardeuse. Les seules valeurs obtenues sont les suivantes (exprimées en flux entrant) :

	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
<b>Investissement</b>	42 €/m <sup>3</sup> entrant	96 €/m <sup>3</sup> entrant
<b>Dépenses d'exploitation</b>	4.2 €/m <sup>3</sup> entrant	8.0 €/m <sup>3</sup> entrant
<b>Coût traitement global hors subv.&amp; recette</b>	9.2 €/m <sup>3</sup> entrant	17.9 €/m <sup>3</sup> entrant

#### Codigestion agricole hors Danemark (Allemagne et Suisse)

L'analyse des données économiques pour les installations de codigestion à la ferme ( $\leq 5\,000\text{ m}^3/\text{an}$ ) montre une disparité entre les 2 pays, probablement liée au développement important de cette filière en Allemagne et aux conditions économiques locales.

Pour ces installations de faible capacité, l'autoconstruction permet de minimiser le coût spécifique d'investissement.

On retiendra les valeurs moyennes suivantes pour les installations de faible capacité :

	<b>Allemagne</b>	<b>Suisse</b>
<b>Investissement</b>	50 €/m <sup>3</sup> entrant	97 €/m <sup>3</sup> entrant
<b>Dépenses d'exploitation</b>	3,7 €/m <sup>3</sup> entrant	9,4 €/m <sup>3</sup> entrant
<b>Coût de traitement global hors subv.&amp; recette</b>	10,29 €/m <sup>3</sup> entrant	19,43 €/m <sup>3</sup> entrant

Les éléments de coûts indiqués dans le Tableau 2.A (exprimés par rapport à la puissance électrique produite) sont équivalents aux valeurs allemandes indiquées ci-dessus.

Faute d'information sur les recettes, le coût net de traitement n'a pas pu être évalué. On retiendra cependant l'incorporation de cosubstrats permet d'une part d'augmenter les recettes de vente d'énergie (augmentation de la production de biogaz) et d'autre part d'obtenir des recettes pour le traitement de ces produits.

#### Codigestion agricole centralisée au Danemark

En terme d'investissement, le coût spécifique ramené au volume de digesteur est le moins influencé par les conditions opératoires propres à chaque installation (nature et volume de cosubstrats admis, régime de température). On retiendra que ce coût est en moyenne de **1 200 €/m<sup>3</sup>dig** (de 1 000 à 1 500).

Dans la mesure où ces installations sont exploitées comme des installations de production d'énergie, les dépenses et les recettes d'exploitation sont donc exprimées en fonction du volume de biogaz produit :

	<b>Moyenne</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
<b>Dépenses d'exploitation</b>	0.19 €/Nm <sup>3</sup>	0.14 €/Nm <sup>3</sup>	0.23 €/Nm <sup>3</sup>
<b>Recettes d'exploitation</b>	0.34 €/Nm <sup>3</sup>	0.23 €/Nm <sup>3</sup>	0.45 €/Nm <sup>3</sup>

Suivant leur potentiel méthanogène, les cosubstrats sont :

- facturés au producteur et donc intégrés aux recettes pour un potentiel faible
- achetés au producteur et donc intégrés aux dépenses pour un potentiel fort

Le traitement des déjections animales n'est en général pas facturé au producteur.

La vente d'énergie (électricité et chaleur) représente la plus grosse part des recettes soit en moyenne **0.26 €/Nm<sup>3</sup>** (de 0.17 à 0.35).

Les coûts de traitement global et net (évalués suivant la méthodologie de l'étude) sont également exprimés en fonction du volume de biogaz produit.

	<b>Moyenne</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
<b>Coût de traitement global hors subv.&amp; recette</b>	0.32 €/Nm <sup>3</sup>	0.24 €/Nm <sup>3</sup>	0.37 €/Nm <sup>3</sup>
<b>Coût de traitement net hors subv.</b>	-0.025 €/Nm <sup>3</sup>	-0.073 €/Nm <sup>3</sup>	+0.013 €/Nm <sup>3</sup>

<b>ADEME</b> <b>REALISATION D'UN REFERENTIEL TECHNIQUE ET ECONOMIQUE</b> <b>D'UNITES DE TRAITEMENT DE DECHETS ORGANIQUES PAR</b> <b>METHANISATION AVEC ET SANS VALORISATION DU BIOGAZ</b>	<i>Référence dossier</i> <b>120114</b>	<i>Indice Révision</i> <b>B</b>
RAPPORT D'ETUDE Synthèse	<i>Statut</i> VALIDE	

Sur la base des hypothèses prises pour cette étude, on note que ces installations sont en mesure de dégager un profit (coût net négatif).

La direction des affaires économiques pour l'agriculture et la pêche au Danemark, qui assure le suivi de ce programme, confirme que **la majorité des sites présentent un bilan financier bénéficiaire ou équilibré.**

### - Synthèse

Catégorie	Investissement	Dépenses d'exploitation	Coût de traitement global hors subv. & recettes	Recettes	Coût de traitement net hors subv.
<b>Boues</b> (valeurs de référence hors analyse des questionnaires)	€/tMS <sub>entrante</sub>	-	€/tMS <sub>entrante</sub>	-	-
	Faible capacité (jÖ10 000 EH) <b>2 000 à 3 000 €/tMS</b>	-	<b>de 300 à 400 €/tMS</b>	-	-
	Forte capacité (jÖ100 000 EH) <b>500 à 1 000 €/tMS</b>	-			
<b>Déchets ménagers</b>	€/t	€/t	€/t	€/t	€/t
	Inférieure à 10 000 t/an <b>de 600 à 1 200 €/t</b>	-	<b>de 110 à 190 €/t</b>	-	
	de 10 000 à 30 000 t/an <b>de 600 à 1 000 €/t</b>	-	<b>de 100 à 170 €/t</b>	-	<b>de 70 à 150 €/t</b>
	Supérieure à 30 000 t/an <b>de 500 à 800 €/t</b>	-	<b>de 80 à 150 €/t</b>	-	
<b>Effluents industriels</b>	€/tDCO <sub>entrant</sub>	€/tDCO <sub>entrant</sub>	€/tDCO <sub>entrant</sub>	-	-
	<b>2 500 €/tDCO</b> de 1 000 à 5 000	<b>170 €/tDCO</b> de 75 à 340	<b>350 €/tDCO</b> de 210 à 560	-	-
<b>Déjections animales en codigestion hors Danemark</b>	€/m <sup>3</sup> <sub>entrant</sub>	€/m <sup>3</sup> <sub>entrant</sub>	€/m <sup>3</sup> <sub>entrant</sub>	-	-
	Allemagne <b>50 €/m<sup>3</sup></b> de 35 à 65	<b>3.7 €/m<sup>3</sup></b> de 1.2 à 6.1	<b>10.29 €/m<sup>3</sup></b> de 5.54 à 17.05	-	-
	Suisse <b>97 €/m<sup>3</sup></b> de 85 à 109	<b>9.4 €/m<sup>3</sup></b> de 7.5 à 11.4	<b>19.43 €/m<sup>3</sup></b> de 16.22 à 22.64	-	-
<b>Déjections animales en codigestion au Danemark</b>	€/m <sup>3</sup> <sub>digesteur</sub>	€/Nm <sup>3</sup> <sub>biogaz</sub>	€/Nm <sup>3</sup> <sub>biogaz</sub>	€/Nm <sup>3</sup> <sub>biogaz</sub>	€/Nm <sup>3</sup> <sub>biogaz</sub>
	<b>1 200 €/m<sup>3</sup></b> de 1 000 à 5 000	<b>0.19 €/Nm<sup>3</sup></b> de 0.14 à 0.23	<b>0.32 €/Nm<sup>3</sup></b> de 0.24 à 0.37	<b>0.34 €/Nm<sup>3</sup></b> de 0.23 à 0.45	<b>-0.025 €/Nm<sup>3</sup></b> de -0.073 à +0.013

Tableau 4.B : Synthèse de l'analyse économique des questionnaires

## 5 - BILAN DE L'ETUDE

Cette étude a permis d'établir un tour d'horizon relativement exhaustif de la méthanisation en Europe au travers de l'analyse du contexte puis d'expériences concrètes dans 5 pays (Allemagne, Danemark, France, Pays-bas et Suisse) pour un large éventail de produits (déjections animales, effluents industriels, boues de STEP, déchets ménagers) et de dégager un ensemble d'indicateurs techniques et économiques représentatifs de ce procédé de traitement.