

Potentiel et facteurs d'émergence de la récupération du biogaz et des gaz fatals





ETUDE N° 02-0415/1A

**POTENTIEL ET FACTEURS D'EMERGENCE DE LA
RECUPERATION DU BIOGAZ ET DES GAZ FATALS**

RAPPORT FINAL

novembre 2004

Ch .COUTURIER - SOLAGRO

Créée en 1989 à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD – REseau COopératif de Recherche sur les Déchets et l'Environnement – est le fruit d'une triple coopération entre industriels, pouvoirs publics et chercheurs. L'objectif principal de RECORD est le financement et la réalisation d'études et de recherches dans le domaine des déchets et des pollutions industrielles.

Les membres de ce réseau (groupes industriels et organismes publics) définissent collégalement des programmes d'études et de recherche adaptés à leurs besoins. Ces programmes sont ensuite confiés à des laboratoires publics ou privés.

Avertissement :

Les rapports ont été établis au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

Ces documents comprennent des propositions ou des recommandations qui n'engagent que leurs auteurs. Sauf mention contraire, ils n'ont pas vocation à représenter l'avis des membres de RECORD.

- ✓ Pour toute reprise d'informations contenues dans ce document, l'utilisateur aura l'obligation de citer le rapport sous la référence :
RECORD, Potentiel et facteurs d'émergence de la récupération du biogaz et des gaz fatals, 2004, 259 p, n°02-0415/1A.
- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)
www.ademe.fr

© RECORD, 2004

SOMMAIRE GÉNÉRAL

PHASE 1		Page
1.	Glossaire	9
2.	État des lieux de la production de biogaz	10
3.	France.....	12
4.	Autriche.....	21
5.	Royaume-Uni	25
6.	Allemagne	29
7.	Suisse	35
8.	Suède	37
9.	Irlande.....	39
10.	Pays-Bas.....	41
11.	Italie	43
12.	Espagne.....	45
13.	Danemark	47
14.	Pologne.....	49
15.	USA	52
16.	Chine	59
17.	Inde.....	63

PHASES 2 & 3		Page
1.	Objectif et méthode	11
2.	France : matières premières végétales	15
3.	France : élevages	20
4.	France : les entreprises de transformation	23
5.	France : les usagers finaux.....	41
6.	France : bilan général de la biomasse.....	48
7.	Gisements de la biomasse en Europe, USA, Chine et Inde	59
8.	Émissions des gaz fatals (COVNM)	102
9.	Détermination du gisement énergétique accessible.....	112
10.	Annexe 1 : caractéristiques des produits.....	124
11.	Annexe 2 : méthodologie pour la caractérisation de la chaîne de traitement des eaux usées	128
12.	Annexe 3 : glossaire	129
13.	Annexe 4 : références bibliographiques	130

SYNTHÈSE PHASES 2 & 3		Page
1.	Une méthode originale d'analyse du potentiel énergétique de la biomasse.....	4
2.	Les filières « biomasse énergie ».....	6
3.	Le potentiel énergétique « long terme » des biomasses mobilisables	8

PHASE 4		Page
1.	Les déterminants de la production d'énergie issue de biomasse	5
2.	Prospectives énergétiques.....	6
3.	Potentiel accessible.....	21
4.	Conclusion	41

Potentiels et facteurs d'émergence de la récupération du biogaz et des gaz fatals

Rapport Phase 1

N° 02 - 415/1A

RESUMÉ

Mots-Clés : Biogaz, production, méthanisation, Europe, Chine, Inde, Etats-Unis.

Ce rapport intermédiaire donne un aperçu qualitatif et quantitatif ainsi que le cadre réglementaire de soutien à la production de biogaz, issu des différents substrats méthanisables, en Europe, Chine, Inde et Etats-Unis.

La production de biogaz progresse dans la quasi-totalité des pays enquêtés.

Peu de pays disposent, comme la France et la Suisse, de données exhaustives prenant en compte l'ensemble des secteurs (notamment les stations d'épuration urbaines) et des modes d'utilisation du biogaz. Toutefois, dans chaque pays enquêté, les principales orientations peuvent être situées. En Europe, au Royaume-Uni particulièrement et aux Etats-Unis, les centres d'enfouissement représentent la principale source. En Allemagne, la méthanisation à la ferme est en constante augmentation et celle des boues urbaines est un système classique pour les plus grosses stations d'épuration. En Espagne, la méthanisation des déchets municipaux progresse rapidement. La Chine et l'Inde totalisent à elles deux 11 millions de digesteurs « familiaux ». Si les programmes de digesteurs de petite taille se poursuivent, la méthanisation à moyenne et grande échelle est en développement et d'importants programmes sont initiés pour promouvoir les installations industrielles, aussi bien dans l'industrie que pour les déchets et effluents municipaux.

Les politiques de soutien à la production d'énergie sont, en Europe et aux Etats-Unis, liées à la production d'électricité, soit par un système (USA, Royaume-Uni) faisant obligation aux distributeurs d'électricité de fournir une proportion donnée d'électricité renouvelable, soit par le principe d'obligation d'achat par les distributeurs avec des tarifs de soutien. Ces deux systèmes s'accompagnent généralement de subventions ou de programmes de soutien.

ABSTRACT SUMMARY

Keywords : Biogas, anaerobic digestion, Europe, China, India, USA.

This report gives a qualitative and quantitative vision of the biogas production, from all different sources, and also the regulatory framework in Europe, China, India and United-States of America.

The biogas production is increasing in all the enquired countries.

Except France and Switzerland, the other countries do not have complete statistics of biogas production and uses from all sources (sewage sludge particular). Nevertheless the main orientations could be given. In Europe, in UK particular, and in USA, the landfill gas represents the main source. In Germany, agricultural biogas plants are in constant increase and anaerobic digestion of sewage sludge is a classic system for the biggest Waste Water Treatment plants. In Spain, anaerobic treatment of municipal wastes in big units is developing very fast. China and India are counting nearly 11 million « household » digesters. The political measures and supports of those two countries are still focusing on household digesters but also on middle and big scale biogas plants for municipal and industrial, solid and liquid, waste.

In Europe, the support of biogas production is linked to the electricity production via two different systems. On one hand a system (USA, UK), where electricity suppliers have to sell a certain quantity of their electricity generated from renewable sources, and on the other hand, the system present in most of the European countries, where grid operators are obliged to purchase electricity generated from renewable sources at a support price fixed by the State. In the two cases, financial incentives or support programs are generally available.

SOMMAIRE

1.	GLOSSAIRE	9
1.1.	Abréviations	9
1.2.	Unités	9
1.2.1.	Puissance	9
1.2.2.	Énergie primaire	9
2.	ÉTAT DES LIEUX DE LA PRODUCTION DE BIOGAZ	10
2.1.	Contexte	10
2.2.	Résumé	10
2.3.	Les méthodes de soutien à la production d'énergie à partir de biogaz en Europe	11
3.	FRANCE	12
3.1.	Sources et contacts	12
3.2.	Contexte et cadre réglementaire	12
3.2.1.	Réglementation sur l'achat d'électricité	13
3.2.2.	Réglementation sur les déchets 1992-2003	13
3.2.3.	Réglementation sur les émissions atmosphériques	15
3.3.	État des lieux	17
3.3.1.	Les stations d'épuration urbaines	19
3.3.2.	Les stations d'épuration industrielles	19
3.3.3.	Les centres de stockage de déchets (CSD)	20
3.3.4.	Les unités de traitement de déjections d'élevage	20
3.3.5.	Les unités de méthanisation de déchets municipaux	20
4.	AUTRICHE	21
4.1.	Sources et contacts	21
4.2.	Contexte et cadre réglementaire	21
4.2.1.	La loi sur l'électricité EIWOG	21
4.2.2.	La loi sur l'électricité « verte » Ökostromgesetz 2002	21
4.2.3.	Programme de recherche et développement des technologies durables de production d'énergie	23
4.2.4.	Loi sur les émissions atmosphériques	23
4.3.	État des lieux	24
4.4.	Potentiel Biogaz	24
4.4.1.	Effluents d'élevage	24
5.	ROYAUME-UNI	25
5.1.	Sources et contacts	25
5.2.	Contexte et cadre réglementaire	25
5.2.1.	L'Eco-taxe de la loi sur le changement climatique (Climate Change Levy)	25
5.2.2.	Contrats NFFO et Renewable Obligation (RO)	25
5.2.3.	Programmes de développement des énergies renouvelables	26
5.2.4.	Réglementation sur les émissions atmosphériques	27
5.3.	État des lieux	28

6.	ALLEMAGNE	29
6.1.	Sources et contacts	29
6.2.	Contexte et cadre réglementaire	29
6.2.1.	Contexte de la politique énergétique	29
6.2.2.	Programme de soutien aux énergies renouvelables	30
6.2.3.	Guide d'exploitation technique d'une installation de biogaz	31
6.2.4.	Contexte de la politique déchets	33
6.3.	État des lieux	33
6.4.	Potentiel Biogaz	34
7.	SUISSE	35
7.1.	Sources et contacts	35
7.2.	Contexte et cadre réglementaire	35
7.2.1.	Contexte de la politique énergétique	35
7.2.2.	Contexte de la politique déchets	36
7.3.	État des lieux	36
8.	SUÈDE	37
8.1.	Sources et contacts	37
8.2.	Contexte et cadre réglementaire	37
8.3.	État des lieux	37
9.	IRLANDE	39
9.1.	Sources et contacts	39
9.2.	Contexte et cadre réglementaire	39
10.	PAYS-BAS	41
10.1.	Sources et contacts	41
10.2.	Contexte et cadre réglementaire	41
10.2.1.	Contexte de la politique énergétique	41
10.2.2.	Contexte de la politique déchets	42
11.	ITALIE	43
11.1.	Sources et contacts	43
11.2.	Contexte et cadre réglementaire	43
11.3.	État des lieux	44
12.	ESPAGNE	45
12.1.	Sources et contacts	45
12.2.	Contexte et cadre réglementaire	45
12.3.	État des lieux	46
13.	DANEMARK	47
13.1.	Sources et contacts	47
13.2.	Contexte et cadre réglementaire	47
13.3.	État des lieux	48

14.	POLOGNE	49
14.1.	Sources et contacts	49
14.2.	Contexte et cadre réglementaire	49
14.3.	État des lieux	51
15.	USA	52
15.1.	Sources et contacts	52
15.2.	Contexte et cadre réglementaire	52
15.2.1.	Les programmes	52
15.2.2.	Le Landfill Methane Outreach Programme (LMOP)	53
15.2.3.	Le programme AgStar	53
15.2.4.	Les politiques des Etats	54
15.3.	État des lieux	54
15.3.1.	État du développement	54
16.	CHINE	59
16.1.	Sources et contacts	59
16.2.	Contexte et cadre réglementaire	59
16.3.	Le biogaz	60
16.3.1.	Digesteurs familiaux	60
16.3.2.	Méthanisation moyenne à grande échelle	61
16.3.3.	Les acteurs du biogaz	62
16.4.	État des lieux	62
17.	INDE	63
17.1.	Contexte	63
17.2.	Le biogaz	63
17.2.1.	État du développement	63
17.2.2.	Les acteurs	67
17.3.	Les programmes	67
17.3.1.	Les digesteurs familiaux	67
17.3.2.	Les procédés industriels	67
17.3.3.	Les projets	69
17.3.4.	Les déjections d'élevage	69
17.3.5.	Les déchets municipaux	69
17.3.6.	Les déchets industriels	70

FIGURES

Figure 1: Comparaison des tarifs d'achat de l'électricité produite à partir de biogaz en France, Allemagne et Autriche..... 11

Figure 2 : Evolution du nombre de réalisations LFGTE aux USA (Source : Susan Thorneloe, Alex Roquetta, John Pacey, et C. Bottero, sur forester.net)..... 56

Figure 3 : Evolution de la capacité installée en Californie en MWe (CSD + STEP urbaines)..... 57

TABLEAUX

Tableau 1 : Valeurs Limites d'Émission, en mg/m ³ , pour des installations brûlant le biogaz.....	16
(Source : Circulaire du 6 décembre 2000)	16
Tableau 2 : La production du biogaz en France en 2001 (Source : SOLAGRO/Observ'ER).....	17
Tableau 3 : Prix d'achat de l'électricité produite à partir de biogaz, gaz de décharge et de boues d'épuration (Source : Ökostromgesetz 2002).....	22
Tableau 4 : Prix d'achat de l'électricité produite à partir de biomasse solide et de déchets à forte teneur en matière organique (Source : Ökostromgesetz 2002).....	22
Tableau 5 : Limites d'émissions en mg/Nm ³ après combustion dans des moteurs, à 5 % d'O ₂ (Source : Technische Grundlage für Beurteilung von Emissionen aus Stationärmotoren, BMWA 2001).....	23
Tableau 6 : Installations de production de biogaz en 1996 et 2000 et production d'énergie en 2000 ..	24
(Source : issu de BLT Wieselburg 2002, Braun 2001).....	24
Tableau 7 : Tarifs moyens d'achat d'électricité à partir de sources renouvelables pour les 5 tranches NFFO (CADDET 1998).....	26
Tableau 8 : Emissions limites autorisées pour la combustion du gaz de décharge dans des moteurs à gaz (Source : Environment Agency 2002).....	27
Tableau 9 : Quantités d'énergie produite par la valorisation du biogaz au Royaume-Uni en 2000 (Source : Rapport annuel 2000 sur les énergies, Chapitre 7, ETSU).....	28
Tableau 10 : prix d'achat de l'électricité produite à partir de différentes sources de biogaz pour des installations construites après le 1 ^{er} janvier 2002.....	30
Tableau 11 : Valeurs limites d'émissions en mg/m ³ pour différentes installations de combustion, TA Luft du 24 juillet 2002.....	32
Tableau 12 : Etat des lieux 2002 pour les installations allemandes productrices de biogaz.....	33
(Source : Kaltschmitt et Scheuermann 2003).....	33
Tableau 13 : Potentiel de production de biogaz.....	34
(Source : Peter Weiland, FAL, 2002, vu dans « Einsatzmöglichkeiten von Biomasse in Deutschland, Potenziale und Nutzung, Blickpunkt energiewirtschaft, Martin Kaltschmitt, 2003 »).....	34
Tableau 14 : Limites d'émissions en mg/Nm ³ après combustion dans les moteurs, à 5 % d'O ₂	35
Tableau 15 : Etat des lieux 2001 pour les installations suisses productrices de biogaz	36
(Source : EICHER + PAULI AG, 2002)	36
Tableau 16 : Etat des lieux 2000 pour les installations suédoises productrices de biogaz.....	38
(Source : NOMIK AB 2000).....	38
Tableau 17 : Programmes AER 1994-2002 (Source : www.irish-energy.ie).....	40
Tableau 18 : Etat des lieux de la production de biogaz en Italie	44
(Sources : Rapport sur les Bioénergies, ministère de l'Agriculture, 2002 et « Il biogas energia alternativa : propettive in zootecnia » - Convegno Internazionale a Fieragricola 2003, Mars 2003).....	44
Tableau 19 : Tarifs d'achat de l'électricité produite à partir de biomasse (Source : IDAE 2003).....	46
Tableau 20 : Estimation de la production de biogaz en Espagne (Source : Plan pour la promotion des énergies renouvelables 2000-2010, IDAE, 2000 et site internet Association des Producteurs des EnR, 2003).....	46
Tableau 21 : Production de biogaz au Danemark en 2002	48
(Source : Danish Biogas System, Jens Bo Holm-Nielsen 2003)	48
Tableau 22 : Coûts de production de l'électricité et de la chaleur à partir de sources renouvelables....	50
(Source : EC BREN 2003).....	50
Tableau 23 : Production d'électricité à partir d'énergie renouvelable, dont la biomasse, en TWh/an.....	54
Tableau 24 : Nombre et puissance installée des unités de valorisation du biogaz en électricité.....	54

Tableau 25 : Répartition géographique de la puissance installée.....	55
Tableau 26 : Evolution du nombre de réalisations LFGTE aux USA (Source : Susan Thorneloe, Alex Roquetta, John Pacey, et C. Bottero, sur forester.net).....	56
Tableau 27 : Liste des sites producteurs de biogaz en Californie.....	58
Tableau 28 : Caractéristiques typiques des digesteurs familiaux (4 personnes).....	61
Tableau 29 : Production de biogaz en Chine en 2000.....	62
(Sources : China Biogas Society 2002, ITEESA 1998, EVA 1996).....	62
Tableau 30 : Bref historique des politiques énergies renouvelables en Inde.....	63
Tableau 31 : Nombre de digesteurs familiaux par Etat (Décembre 2001).....	64
Tableau 32 : Nombre d'unités communautaires, institutionnelles et industrielles par Etat (Décembre 2001).....	65
Tableau 33 : Projets financés par l'IREDA : Indian Renewable Energy Development Agency.....	65
(Source : www.teriin.org)	65
Tableau 34 : Place de la méthanisation dans quelques secteurs industriels (Source : http://www.teriin.org/renew/tech/biometh/present.htm).....	66
Tableau 35 : Caractéristiques typiques des digesteurs familiaux.....	66
Tableau 36 : Etat des lieux estimatif en 2002	69
Tableau 37 : Potentiel de production de biogaz à partir de déchets municipaux et des eaux usées, en ktep (Source : http://www.indiawteplan.com/htm/statuts.asp).....	69
Tableau 38 : Potentiel de production de biogaz pour les distilleries (267 unités) (Source : http://www.indiawteplan.com/htm/statuts.asp)	70
Tableau 39 : Potentiel de production de biogaz pour les papeteries (45 unités) (Source : http://www.indiawteplan.com/htm/statuts.asp)	70
Tableau 40 : Potentiel de production de biogaz pour les sucreries (431 unités)	70
(Source : http://www.indiawteplan.com/htm/statuts.asp)	70
Tableau 41 : Potentiel de production de biogaz pour les amidonneries de maïs (11 unités).....	71
(Source : http://www.indiawteplan.com/htm/statuts.asp)	71
Tableau 42 : Potentiel de production de biogaz pour les laiteries (342 unités)	71
(Source : http://www.indiawteplan.com/htm/statuts.asp)	71

1. Glossaire

1.1. Abréviations

CSD	: Centre de Stockage des Déchets (= ISD)
COV	: Composés Organiques Volatils
COVNM	: Composés Organiques Volatils Non Méthaniques
DCO	: Demande Chimique en Oxygène
EH	: Equivalents-Habitants
ISD	: Installation de Stockage de Déchet
STEP	: Station d'épuration (urbaine ou industrielle)
PCI	: Pouvoir Calorifique Inférieur

1.2. Unités

1.2.1. Puissance

MW : 10^3 kW

GW : 10^6 kW

1.2.2. Énergie primaire

	kJ	PJ	GWh	ktep
1 kJ	1	10^{-12}	278×10^{-12}	$23,9 \times 10^{-12}$
1 PJ (Peta Joule)	10^{12}	1	278	23,91
1 GWh	$3,6 \times 10^9$	0,0036	1	0,0861
1 ktep (tonne équivalent pétrole)	$41,8 \times 10^9$	0,0418	11,62	1

1 Nm³ de CH₄ (0°C, 1 atm) = 9,95 kWh PCi

2. État des lieux de la production de biogaz

2.1. Contexte

Ce rapport constitue le **premier rapport d'avancement** de l'étude sur les facteurs d'émergence de la production de biogaz réalisée par SOLAGRO pour l'association RE.CO.RD.

Il dresse un état des lieux de la situation du biogaz aux **Etats-Unis**, en **Chine**, en **Inde** et en **Europe**, et plus particulièrement les principaux pays producteurs : **Allemagne**, **Royaume-Uni**, pour lesquels nous avons détaillé le contexte de développement (réglementations, politique, programmes). L'étude traite également d'autres pays – Autriche, Suisse, Suède, Italie, Espagne, Pologne, Danemark, Pays-Bas – dont certains ont développé des programmes ou des politiques originaux.

2.2. Résumé

La production de biogaz progresse dans la quasi-totalité des pays enquêtés.

L'Agence Internationale de l'Energie estime que la **production d'électricité** est passée de **5 TWh** en 1990 à **12,05 TWh en 2000**, soit +9 % ou + 0,7 TWh par an.

En 1990, les Etats-Unis étaient le principal producteur et représentent aujourd'hui 5 TWh, en croissance de +6,4 % par an. En 2000, cette place revient à l'Europe « OCDE », avec 54,5 %. Le Royaume-Uni est le principal producteur (2,6 TWh), suivi de l'Allemagne (1,7 TWh, croissance de +23 % par an).

Les **autres formes de valorisation** (essentiellement sous forme thermique) restent très mal documentées. Peu de pays disposent, comme la France ou la Suisse, de données exhaustives prenant en compte l'ensemble des secteurs (notamment les stations d'épuration urbaines) et des modes d'utilisation. Les politiques de soutien sont également principalement axées sur la production d'électricité, elles passent essentiellement par des subventions aux investissements. La directive européenne sur la chaleur issue de sources renouvelables, en projet, pourrait modifier cet état de fait.

En Europe comme aux Etats-Unis, les centres d'enfouissement représentent la principale source.

L'un des faits marquants de ces dernières années est le succès de la méthanisation à la ferme en Allemagne, qui dépasse désormais la production de biogaz des centres d'enfouissement et se situe à égalité avec la production de biogaz des stations d'épuration. La méthanisation des déchets municipaux progresse également en Allemagne, et désormais surtout en Espagne.

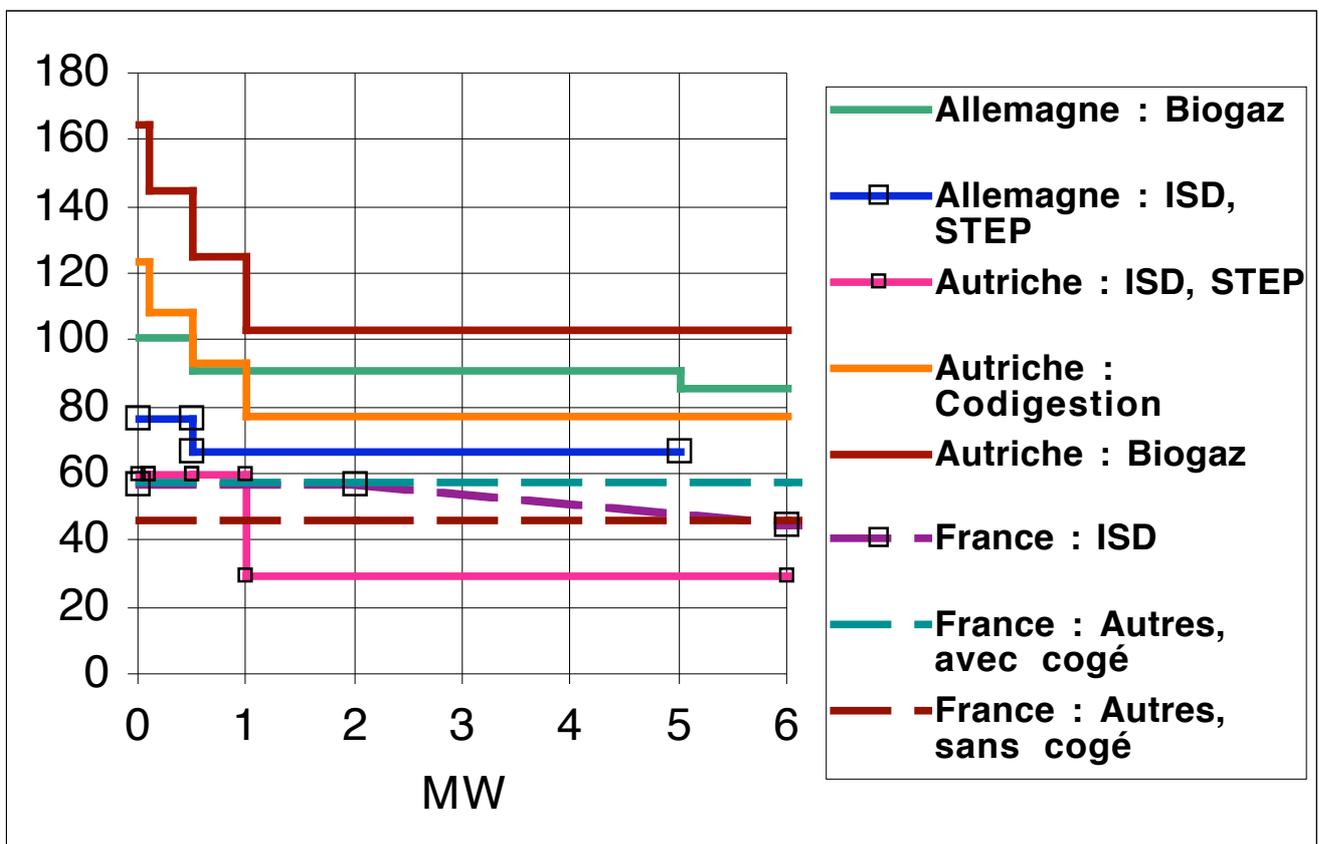
Le biogaz hors pays de l'OCDE progresse également : en Chine et en Inde, les programmes de digesteurs de petite taille se poursuivent. Ces deux pays totalisent actuellement 11 millions de digesteurs « familiaux ». Une partie importante de ceux-ci n'est pas opérationnelle et certaines estimations indiquent un taux d'utilisation proche de 60 % en Inde. Il est vraisemblable qu'il en soit de même en Chine. Dans ces deux pays, la méthanisation à moyenne et grande échelle est en développement et d'importants programmes sont initiés pour promouvoir les installations industrielles aussi bien dans l'industrie que pour les déchets et effluents municipaux.

2.3. Les méthodes de soutien à la production d'énergie à partir de biogaz en Europe

Aux **Etats-Unis**, deux systèmes de promotion des énergies renouvelables coexistent. Chaque Etat peut se doter d'un système dit de **portfolio** (RPS : Renewable Portfolio Standards), faisant obligation aux distributeurs d'électricité de fournir une proportion donnée d'électricité renouvelable. Le système des **fonds** (SBF : System Benefits Funds) repose quant à lui sur une taxation des consommateurs finaux d'électricité dont le produit bénéficie aux producteurs d'électricité renouvelable, directement (subventions) ou indirectement (programmes de R&D, formation, etc ...).

Dans les principaux pays **d'Europe**, les principaux mécanismes reposent sur le principe de l'obligation d'achat d'électricité par les distributeurs avec des tarifs de soutien, ou sur une obligation de taux d'incorporation. Le financement de ces mesures varie selon les pays : taxe sur les consommateurs finaux (charges de service public en France par exemple), ou tarifs spécifiques pour l'électricité « verte ».

Figure 1: Comparaison des tarifs d'achat de l'électricité produite à partir de biogaz en France, Allemagne et Autriche



Le mécanisme des certificats verts est mis en œuvre dans quelques pays, avec un succès contrasté. Aux Pays-Bas notamment, précurseur en la matière, ce système a conduit les distributeurs à importer de l'électricité renouvelable depuis les pays appliquant la réciprocité (Allemagne, Autriche...), et non à promouvoir la production nationale d'électricité renouvelable, d'où une révision de ce système pour limiter ces effets pervers.

3. France

3.1. Sources et contacts

La valorisation du biogaz en Europe, SOLAGRO, GDF, ADEME, 2001.

Comptabilité de la production d'énergie des filières biogaz en France, DGEMP, SOLAGRO/Observ'ER, 2002.

Les installations industrielles de méthanisation en 2001, Club Biogaz, ATEE, 2001.

3.2. Contexte et cadre réglementaire

Si aujourd'hui, en France, 13 % de l'énergie est de source renouvelable, c'est essentiellement à partir de l'hydroélectricité et du bois énergie. Au début de l'année 2000, le gouvernement français, à travers son programme d'action pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre, mentionne le biogaz sous l'angle du meilleur contrôle des émissions de biogaz générées par les centres de stockage de déchets et les fosses à lisiers.

Aujourd'hui, le PPI (Programmation Pluriannuelle des Investissements de production d'électricité) donne les objectifs de développement de la production d'électricité renouvelable. L'arrêté signé le 7 Mars 2003 fixe un objectif total de 2,6 à 7,8 GW d'énergie primaire renouvelable supplémentaire, avec un objectif d'ici 2010 de 21 % de renouvelables dans la "consommation intérieure brute" d'électricité.

En ce qui concerne le biogaz, dès 1997, l'ADEME et Gaz de France ont signé une convention spécifique au biogaz permettant de financer (à hauteur de 30 à 100 %) des mesures d'accompagnement à un projet biogaz : études régionales de gisement et potentiel de production, études de faisabilité de projets de valorisation.

Aujourd'hui les objectifs de production sont donnés par le PPI. L'objectif assigné au biogaz, de 10 à 20 MW par an, est comparable au rythme actuel de réalisations¹.

Le gouvernement prévoit de lancer des appels d'offre pour les unités de puissance supérieure à 12 MWe. Un programme qui ne devrait pas concerner le biogaz, puisque les 3 installations qui dépassent cette capacité en France sont déjà équipées de centrales de valorisation électrique.

¹ Selon SOLAGRO, en effet, le parc de production d'électricité issue de gaz de décharge est passé de 6 MW en 1998, à 58 MW fin 2002.

3.2.1. Réglementation sur l'achat d'électricité

Depuis 2001, dans le cadre de la loi relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité (n°2000-108 du 10 février 2000, article 10), deux arrêtés fixent le prix d'achat de l'électricité produite à partir de biogaz :

- **Arrêté du 3 octobre 2001** : fixe les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations qui valorisent des déchets ménagers ou assimilés en utilisant le biogaz de décharge.
- **Arrêté du 16 avril 2002** : fixe les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations de méthanisation.

Les deux arrêtés donnent la méthode de calcul du prix d'achat de l'électricité qui est fonction de plusieurs paramètres (puissance, quantité de chaleur cogénérée, date de la MES de l'installation, disponibilité effective de la puissance fournie). Les coûts de raccordement de l'installation de production d'électricité au réseau sont à la charge du producteur. Le contrat d'achat est de 15 ans.

Cas du gaz de décharge : le tarif d'achat varie de 41,2 à 60 €/MWh en métropole et de 50,3 à 69 €/MWh dans les DOM.

Cas du biogaz de méthanisation : le tarif d'achat varie de 44,2 à 58 €/MWh en métropole et de 51,8 à 64 €/MWh dans les DOM.

3.2.2. Réglementation sur les déchets 1992-2003

La Loi de 1992, n°92-646 du 13 juillet 1992 relative à l'élimination des déchets ainsi qu'aux installations classées pour la protection de l'environnement, donnait la décennie suivante pour « prévenir ou réduire la production et la nocivité des déchets ». Les principaux objectifs portaient sur l'instauration du recyclage (valorisation de la matière) et sur la valorisation de l'énergie. Le 1^{er} juillet 2002, les centres d'enfouissement techniques ne devaient recevoir que des déchets ultimes « déchets résultant ou non d'un traitement, qui n'est plus susceptible d'être traité dans des conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux ».

Cette loi a été complétée par différents textes portant sur la gestion des déchets (Décret 93-139 du 3/02/93 relatif aux plans d'élimination des déchets ménagers ; Décret 94-609 « Emballages Non ménagers » relatif aux déchets industriels et commerciaux ; Circulaire « Plans déchets » du 28 avril 1998, relative à la mise en œuvre et à l'évolution des plans départementaux d'élimination des déchets ménagers et assimilés, voir 3.2.2.1) et la valorisation de la matière organique (Circulaire du 28 juin 2001 relative à la gestion des déchets organiques, voir 3.2.2.2).

Un projet de loi devrait être présenté au Parlement début 2004 par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. Le texte national définit quatre priorités : protection de la santé et de l'environnement, accroissement des capacités de traitement, réduction de la production de déchets et recyclage. Au niveau national, les grands axes de travail proposés sont les suivants : la réduction des déchets dès la conception accompagnée d'une sensibilisation des consommateurs, l'amélioration nécessaire du tri et le développement des filières spécifiques, la fermeture des incinérateurs hors normes, la résorption des décharges illégales, l'amélioration de la séparation des déchets toxiques des déchets ménagers, la généralisation de la valorisation du gaz de décharge.

Simultanément la Commission européenne lance la consultation de la future politique déchets, prévention et recyclage des déchets. Le texte européen est centré principalement sur deux axes : la fixation des objectifs quantitatifs en matière de prévention des déchets et l'utilisation des forces de marchés pour développer le recyclage.

3.2.2.1. Circulaire du 28 avril 1998 (circulaire « Plans déchets »)

Cette circulaire donne les orientations de mise en œuvre des plans départementaux d'élimination des déchets ménagers et assimilés. Les objectifs de cette circulaire sont les suivants :

- Action volontariste des collectivités locales pour la mise en place de système d'élimination des déchets ménagers et assimilés respectueux de l'homme et de l'environnement en cohérence avec les spécificités locales.
- Maîtrise du coût de traitement.
- Prévention ou réduction de la production et la nocivité des déchets.
- Valorisation des déchets par réemploi, recyclage ou toute autre action visant à obtenir à partir des déchets des matériaux réutilisables. Au niveau national, à terme, la moitié de la production de déchets dont l'élimination est de la responsabilité des collectivités locales doit être collectée pour récupérer des matériaux en vue de leur réutilisation, de leur recyclage, de leur traitement biologique, par compostage ou **méthanisation**, de l'épandage agricole.
- Traitement **des déchets pour récupérer l'énergie**.
- Traitement respectueux de l'environnement, de la fraction non récupérable ou non réutilisable des déchets.
- À partir du 1^{er} juillet 2002, admission uniquement des déchets ultimes en décharge, c'est-à-dire de déchets non issus au moins de collectes sélectives en vue de leur recyclage (matériau) ou de leur traitement biologique, compostage ou **méthanisation**, ou épandage agricole (fraction fermentescible ou biodégradable).
- Dynamique des plans départementaux devant s'inscrire dans la durée.
- Application du principe de proximité.
- Concertation et réflexion des collectivités locales avec tous les partenaires impliqués.

3.2.2.2. Circulaire du 28 juin 2001 relative à la gestion des déchets organiques

Cette circulaire ajoute trois principes incontournables à la réglementation déchets antérieure afin de fonder une valorisation biologique sûre et durable des déchets organiques :

- La qualité des amendements et des fertilisants organiques conçus à partir des composts et digestats des collectivités ou d'autres sources de production de matière organique doit être absolument irréprochable, tant sur le plan de leur innocuité que de leur efficacité.
- La valorisation biologique doit être intégrée dans un système durable de gestion des déchets adapté à chaque territoire (optimisation sur les plans technique, économique, social et environnemental pour la collecte et la valorisation biologique, importance du compost individuel, importance de la mobilisation des déchets organiques de commerce, d'IAA, de restauration).

Les actions de sensibilisation, d'information et de concertation au niveau local doivent précéder et accompagner le processus de développement de la valorisation biologique (acceptabilité, démarche qualité, préparation des certifications ISO 9000 et ISO 14000 par l'ADEME et l'AFAQ, importance des marchés d'écoulement des composts ou digestats à proximité des sites de production).

La valorisation biologique est clairement mentionnée :

- Importance de la méthanisation qui « peut être une composante utile » : passer de quelques opérations pilotes à de multiples opérations exemplaires, grâce à la levée des incertitudes portant sur les combinaisons des collectes sélectives et d'un traitement par méthanisation.
- Soutien technique et financier de l'ADEME pour les études et réflexions sur la valorisation biologique : analyses des sources de production, mode de traitements, analyse de l'existant, analyse des débouchés et des marchés d'écoulement des composts...
- Plan spécifique pour les installations actuelles de tri-compostage sur ordures brutes ou sur fractions résiduelles en vue de leur reconversion ou réhabilitation.

- Les installations de compostage et les installations brûlant des biogaz sont soumises à la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) :

Rubrique 2910 A et B pour des installations brûlant des biogaz (circulaire du 6 décembre 2000).

Rubrique 2170 relative à la fabrication d'engrais et supports de cultures à partir de matières organiques. Cette rubrique est valable (circulaire du 5 janvier 2001²) pour des matières organiques d'origine animale ou végétale, seules ou en mélange avec la FFOM collectée séparément, dès lors que le compost est conforme aux exigences du **code rural L.255-I et L.255-II**. Les installations de cette rubrique sont soumises à autorisation si leur capacité de production dépasse 10 t/j et à déclaration si elle dépasse 1 t/j.

Rubrique 322 relative au stockage et au traitement des ordures ménagères et aux résidus urbains.

3.2.3. Réglementation sur les émissions atmosphériques

Les valeurs limites d'émissions (VLE) des installations brûlant le biogaz sont données par la Circulaire du 6 décembre 2000, actuellement en révision. Un nouveau texte, circulaire du 11 mars 2003 est en cours de discussion.

Cette circulaire établit le classement des installations brûlant des biogaz sous différentes rubriques de la nomenclature des installations classées pour l'environnement (ICPE). Ce classement n'est pas remis en cause dans le texte en discussion :

- Si l'exploitant de l'installation produisant le biogaz est l'exploitant de l'installation qui le valorise, il convient de considérer l'installation valorisant le biogaz comme équipement connexe à l'ICPE qui le produit.
- Si les exploitants sont distincts, il convient de classer l'installation valorisant le biogaz sous la rubrique 2910 B de la nomenclature des ICPE. En effet, les biogaz ne peuvent être considérés, ni comme des combustibles commerciaux, ni comme de la biomasse et ne relèvent donc pas de la rubrique 2910 A (rubrique destinée aux combustibles commerciaux et à la biomasse).
- Si le biogaz n'est pas produit par une ICPE ou si l'installation de valorisation se situe en dehors du périmètre de l'ICPE qui le produit, il convient de classer également sous la rubrique 2910 B.

La circulaire du 6 décembre 2000, donne les mêmes valeurs limites d'émissions aux installations brûlant des biogaz et du gaz naturel.

² La **circulaire du 5/01/00**, non parue au Journal Officiel, propose de classer les ICPE des installations de compostage et des points d'apports de déchets ménagers triés dans la rubrique 2170. Ainsi les composts conformes aux exigences de la loi n°79-595 du 13/07/79 et issus du traitement par compostage des effluents d'élevage, des refus de jardinage et des rebuts végétaux de fabrication d'IAA seuls ou en mélange avec des boues de STEP et des biodéchets (FFOM) municipaux, sont à classer dans la rubrique 2170. Les autres cas, la rubrique 322 est à retenir.

Tableau 1 : Valeurs Limites d'Émission, en mg/m³, pour des installations brûlant le biogaz
(Source : Circulaire du 6 décembre 2000)

% d'O ₂ dans les gaz d'échappement	Chaudière			Moteur			Turbine		
	3 % sur gaz sec			5 % sur gaz sec			15 % sur gaz sec		
Polluants (mg/m ³)	2 à 10 MWth	10 à 20 MWth	+ de 20 MWth	2 à 20 MWth	20 à 100 MWth	+ de 100 MWth	2 à 20 MWth	20 à 50 MWth	+ de 50 MWth
Poussières	5	5	5	150	100	100	150	10	10
CO	250	250	200	800	650	650	300	85	85
NOx	225	225	100	525	350	250	225	80	50
SO ₂	35	35	35	35	35	35	35	10	10
COVNM	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Plusieurs points sont remis en cause dans le nouveau projet :

- ❑ Les valeurs limites d'émissions du SO₂ ne devraient plus être imposées.
- ❑ Les installations de combustion de biogaz devront brûler du biogaz à au moins 30 % de méthane.
- ❑ Des contraintes sur le matériel utilisé (captage et valorisation) devront être fixées.
- ❑ La composition du biogaz devra être surveillée en continu et le débit de biogaz mesuré en continu.
- ❑ La surveillance des concentrations, souvent très faibles, en dioxines, furannes et métaux lourds, sera effectuée initialement pour s'assurer que les flux émis sont faibles, sauf cas particulier.
- ❑ Une valeur limite d'émission sur le chlore sera fixée à 10 mg/Nm³ pour les installations de combustion de biogaz issu de la méthanisation de pâte à papier.
- ❑ L'obligation d'élimination en torchère du biogaz excédentaire est étendue à l'ensemble des installations classées mettant en œuvre un procédé de méthanisation.

3.3. État des lieux

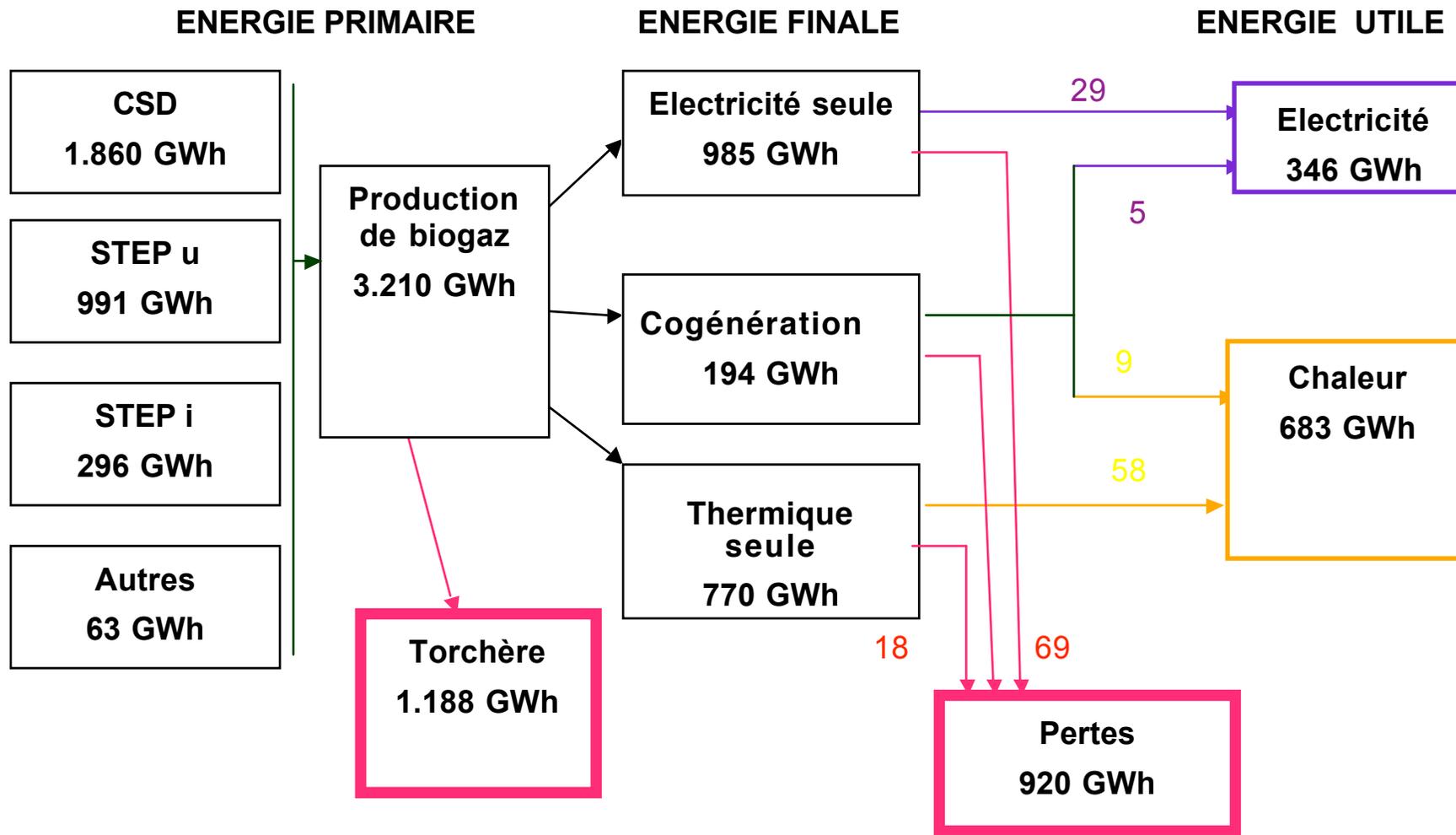
La France est le troisième producteur de biogaz en Europe grâce à un parc important de STEP urbaines et industrielles et depuis peu à celui des décharges valorisant le biogaz. Si la France possède le potentiel le plus important d'Europe, estimé à 3,5 Mtep³, celui-ci est très peu exploité notamment en ce qui concerne la méthanisation d'effluents d'élevage en unité individuelle ou centralisée et des biodéchets...

Tableau 2 : La production du biogaz en France en 2001 (Source : SOLAGRO/Observ'ER)

	Nombre de sites équipés	Electricité valorisée (PJ/an)	Chaleur valorisée (PJ/an)	Énergie totale produite (PJ/an)
Centres d'enfouissement	17 (1)	0,82	0,26	5,4
Boues d'épuration	137	0,33	1,34	3,6
Déchets industriels	72	0,02	0,62	1,1
Déchets municipaux	2	-	0,19	0,2
Effluents agricoles	5	-	-	-
TOTAL	230	1,2	2,4	10,3

(1) 17 sites sont équipés d'installations de valorisation de biogaz, au total 20 unités. Certains sites possèdent plusieurs unités de valorisation.

³ Source : *La valorisation du Biogaz en Europe, Solagro, Gaz de France, Ademe, 2001*



Pour l'avenir, les nouveaux projets sont annoncés autour des CSD (8 nouvelles installations réalisées en 2002). Ainsi, la production d'électricité d'origine biogaz devrait augmenter pour 2002 et les années à venir. Concernant les autres gisements, les projets sont moins nombreux.

3.3.1. Les stations d'épuration urbaines

Fin 2001, le parc total de digesteurs en service est estimé à 20,5 millions d'équivalents habitants (Meqh), pour 137 stations d'épuration urbaines (dont 103 ont une capacité de plus de 30.000 équivalents habitants).

Sur l'ensemble du parc français des STEP urbaines, 10 sites valorisent le biogaz en cogénération et 127 en thermique seul.

La majorité des stations est équipée d'une chaudière à gaz qui sert à chauffer les digesteurs. L'excédent de gaz est brûlé en torchère.

Dans plusieurs cas, le biogaz est également utilisé pour le chauffage des locaux. Par ailleurs, une partie du biogaz est également valorisée dans des applications de cogénération. On compte 10 unités équipées d'un cogénérateur allant d'une puissance de quelques centaines de kW électriques en moteur à quelques MW en turbine. D'autres utilisations sont également possibles comme le séchage thermique des boues, un combustible d'appoint pour l'incinération des boues, le conditionnement thermique des boues ou encore la production d'air comprimé.

3.3.2. Les stations d'épuration industrielles

Fin 2001, le parc des digesteurs installés dans des stations d'épuration industrielles était de 86 (Il y a 72 sites en France mais certains sont équipés de plusieurs digesteurs).

La capacité totale de traitement en France est estimée à 762 tonnes DCO/jour en 2001. Ce chiffre comptabilise les sites en service, les sites en phase d'arrêt et les sites en phase de démarrage.

Les industriels qui valorisent leur biogaz au travers de STEP sont principalement issus des secteurs suivants :

- amidonnerie et levurerie ;
- brasserie et boisson ;
- confitures ;
- laiterie ;
- producteur agricole de pommes de terre et de légumes ;
- conserverie ;
- distillerie ;
- caves vinicoles et coopératives.

Le parc de méthanisation industrielle est réparti comme suit⁴ :

- ❑ 47 % pour l'industrie des boissons et distillerie ;
- ❑ 24 % pour l'industrie papetière ;
- ❑ 19 % pour les industries agroalimentaires ;
- ❑ 10 % pour les industries agrochimique.

⁴ les installations industrielles de méthanisation en 2001, Club Biogaz, ATEE, 2001

Sur l'ensemble du parc français des STEP industrielles, 2 sites valorisent le biogaz en cogénération et 70 sites en thermique seul.

Sur les 72 sites, une quinzaine ne valorise pas leur biogaz et le brûle directement en torchère. Par ailleurs, les sites les plus importants valorisent la totalité de leur production de biogaz. Celui-ci est généralement utilisé pour produire de la vapeur, soit dans une chaudière dédiée, soit en combustible d'appoint d'une chaudière mixte. La production d'électricité est plus marginale.

3.3.3. Les centres de stockage de déchets (CSD)

Seul le parc équipé en unités de valorisation du biogaz est répertorié. En effet, le nombre de sites où la récupération de gaz de décharge est effective (mais sans valorisation) ou possible, s'élève à plusieurs centaines.

Fin 2001, le parc français était composé de 20 unités de valorisation du gaz de décharge réparties sur 17 sites (certains sites comportent plusieurs types de valorisation), non compris les ISD qui utilisent le biogaz uniquement pour le traitement des lixiviats. Le nombre d'unités de valorisation est passé de 9 en 1997 à 7 en 1998 du fait de l'arrêt de petites unités. En 1999 et 2000, les chiffres de parc ont été respectivement de 12 et 16 unités.

Sur les 20 unités répertoriées sur l'année 2001, on relève :

- 8 unités de production d'énergie thermique avec des applications diverses : chauffage de logements, déshydratation de produits agricoles, évaporation de lixiviats ;
- 12 unités de production d'électricité. Celle-ci est essentiellement exportée sur le réseau public. La puissance installée s'élève à environ 40 MW qui se répartissent entre 2 turbines à vapeur et une vingtaine de moteurs. Il faut noter que les unités de production électrique installées dans les ISD ne sont pas en cogénération mais en production électrique seule.

3.3.4. Les unités de traitement de déjections d'élevage

Au début des années 80, on dénombrait environ cent installations de méthanisation agricoles. Seules cinq fonctionnent encore aujourd'hui.

Cette situation peut être expliquée par les points suivants :

- les installations ont été conçues à l'époque avec pour unique objectif de produire du biogaz, sans tenir compte des impacts environnementaux ;
- le programme de l'AFME étant un programme de démonstration, il a conduit à des expérimentations techniques pas toujours satisfaisantes. Associé à un manque de suivi de ces installations, cela a débouché sur l'arrêt de nombreuses installations.

La production brute de biogaz des cinq unités recensées est de l'ordre de 300 000 m³ par an, soit 0,15 ktep d'énergie primaire. La production d'électricité annuelle est d'environ 0,04 GWh.

3.3.5. Les unités de méthanisation de déchets municipaux

Il existe actuellement en France deux unités de méthanisation de déchets municipaux : Amiens (MES en 1984) et Varennes-Jarcy (MES en 2002). La production brute de biogaz de l'usine d'Amiens a été 10,34 millions de m³ en 2001, soit 5,3 ktep d'énergie primaire.

L'énergie est utilisée pour le chauffage des digesteurs, la majeure partie est livrée à un utilisateur externe, et une faible quantité est éliminée en torchère. L'énergie utile est d'environ 4,5 ktep (chauffage du digesteur compris).

L'usine de Varennes-Jarcy ne produit pas à ce jour encore de biogaz.

4. AUTRICHE

4.1. Sources et contacts

Site internet de l'Agence autrichienne de l'énergie www.eva.wsr.ac.at

Site internet du Ministère de l'Economie et du travail www.bmwa.gv.at

Technische Grundlage für Beurteilung von Emissionen aus Stationärmotoren, BMWA 2001.

Ökostromgesetz 23 août 2002.

Nachwachsende Rohstoffe in Österreich, Franz Handler, Manfred Wörgetter, Josef Rathbauer, Heinrich Prankl, Bundesanstalt für Landtechnik, 2002.

4.2. Contexte et cadre réglementaire

Depuis la crise énergétique des années 1970 et l'abandon du nucléaire par référendum en 1978, le développement des énergies renouvelables est une priorité dans la politique énergétique autrichienne. En 2000, les énergies renouvelables représentent 24,3 % de la consommation d'énergie primaire autrichienne, dont 12,7 % proviennent de l'hydraulique et 9,9 % de la biomasse. L'objectif fixé par la Directive européenne est d'atteindre une production d'électricité renouvelable en 2010 de 78,1 % de la production totale.

4.2.1. La loi sur l'électricité EIWOG

En juillet 1998, le Parlement autrichien, conformément aux directives européennes sur le développement du marché de l'électricité, a adopté une nouvelle loi sur l'électricité, EIWOG 1998 (Elektrizitätswirtschafts-und-Organisationsgesetz) dont les objectifs de production d'électricité à partir de source renouvelable sont les suivants :

- au moins 2 % pour janvier 2004,
- au moins 3 % pour janvier 2006,
- au moins 4 % pour janvier 2008.

Un organe de contrôle et de régulation a été créé, Elektrizitäts-Control GmbH (ECG), par lequel les distributeurs doivent passer pour vendre leur proportion d'électricité « verte ».

Depuis l'ouverture complète du marché de l'électricité pour tous les consommateurs (1^{er} octobre 2001), la EIWOG a été modifiée en 2000 en vue d'assurer une « qualité » de l'électricité fournie par le biais de certificats, d'informations entre les distributeurs et les consommateurs, d'un organe de contrôle et régulation.

4.2.2. La loi sur l'électricité « verte » Ökostromgesetz 2002

Cette loi fixe les conditions et tarifs d'achat de l'électricité produite à partir d'installations dont au minimum 3 % de l'énergie primaire est d'origine renouvelable. La loi répertorie les différentes sources d'énergies renouvelables (éolien, solaire thermique et photovoltaïque, géothermie, biomasse, déchets à forte teneur en matière organique, gaz de décharge et de boues d'épuration, biogaz et petite hydraulique depuis début 2003). La biomasse et les déchets sont classés en plusieurs groupes selon leur origine.

Les tarifs d'achat sont fixés pour chaque type de sources et prévalent pour les 13 années après la mise en service de l'installation.

Les distributeurs peuvent répercuter les coûts sur le tarif de vente suivant un tarif fixé par la loi. Ce surcoût payé par les consommateurs s'élève de 0,94 à 1,34 €/MWh.

Tableau 3 : Prix d'achat de l'électricité produite à partir de biogaz, gaz de décharge et de boues d'épuration (Source : Ökostromgesetz 2002)

€/MWh	Biogaz	Biogaz par Co-digestion	Gaz de décharge	Biogaz de boues d'épuration
< 100 kWe	165	123,75	60	60
100-500 kWe	145	108,75	60	60
500 kWe-1 MWe	125	93,75	60	60
> 1 MWe	103	77,25	30	30

Dans le cas de l'utilisation d'installation de valorisation de biogaz et d'un autre combustible, le prix d'achat est proportionnel à la quantité de biogaz utilisé par rapport à la puissance thermique dégagée.

Tableau 4 : Prix d'achat de l'électricité produite à partir de biomasse solide et de déchets à forte teneur en matière organique (Source : Ökostromgesetz 2002)

€/MWh	Plaquettes forestières	Déchets de bois Catégorie 1	Déchets de bois Catégorie 2	Autres déchets
jusqu'à 2 MW	160	128	104	27
2-5 MW	150	120	97,5	27
5-10 MW	130	104	84,5	27
> 10 MW	102	81,6	66,3	27
Installation combustible mixte	65	50	40	30

4.2.3. Programme de recherche et développement des technologies durables de production d'énergie

Ce programme de recherche et développement, Österreichisches Energieforschungs- und-technologiekonzept, est destiné à développer des technologies durables pour la production d'énergie pour la mise sur le marché à horizon 5 à 10 ans. Plusieurs thèmes sont privilégiés : bioénergie et hydraulique, développement technologique et des systèmes de management de l'approvisionnement et de la qualité de la fourniture de l'électricité sur le marché libéral, développement de la construction Haute Qualité Environnementale, maîtrise de l'énergie et efficacité énergétique dans l'industrie, optimisation des systèmes de transport et de mobilité.

4.2.4. Loi sur les émissions atmosphériques

En Autriche, seules les émissions pour les chaudières sont soumises à une réglementation (LRG-K, BGBl 380/1988 et LRV-K, BGBl 19/1989), celles issues des moteurs font l'objet de préconisations rassemblées dans un document de 2001 du Ministère de l'Industrie, BMWA (Technische Grundlage für Beurteilung von Emissionen aus Stationärmotoren).

Tableau 5 : Limites d'émissions en mg/Nm³ après combustion dans des moteurs, à 5 % d'O₂ (Source : Technische Grundlage für Beurteilung von Emissionen aus Stationärmotoren, BMWA 2001)

Types de combustibles	Biogaz		Gaz de décharge et de boues urbaines		Gaz naturel et autres	
	< 100 kWe	> 100 kWe	< 100 kWe	> 100 kWe	< 1000 kWe	> 1000 kWe
CO	650	650	650	400	200	200
NOx	-	400	-	500	250	150
COVNM	-	150	-	150	150	50
H ₂ S	-	5	-	-	--	-

4.3. État des lieux

Tableau 6 : Installations de production de biogaz en 1996 et 2000 et production d'énergie en 2000
(Source : issu de BLT Wieselburg 2002, Braun 2001)

	Nombre d'installations		Production de biogaz en 2000	Production d'énergie primaire en 2000
	1996 (EVA)	2000 (Braun 2001)	10 ⁶ m ³ biogaz/an	PJ/an
Biogaz à la ferme, 6 MW moyenne de 50 kW	61	100	17	0,37
Industries	6	25	18	0,39
Biogaz boues d'épuration	118	140	110	2,38
Gaz de décharges	11	31	123	2,65
Biodéchets	0	3	6	0,15
TOTAL	196	299	274	5,94

4.4. Potentiel Biogaz

4.4.1. Effluents d'élevage

Le potentiel réalisable de production de biogaz à partir d'effluents d'élevage et de résidus agricoles dans des unités de méthanisation à la ferme a été estimé à 2 PJ/an en 2010 (Haas et al, 2001, vu dans « Nachwachsende Rohstoffe in Österreich, Franz Handler, Manfred Wörgetter, Josef Rathbauer, Heinrich Prankl, Bundesanstalt für Landtechnik, 2002 »).

5. Royaume-Uni

5.1. Sources et contacts

DTI Renewable Energy Programm, Annual Report 2001, Department of Trade and Industry (DTI, www.dti.gov.uk).

Renewables Obligation Status Updates 2002, Department of Trade and Industry (DTI).

The Renewables Obligation, Preliminary Consultation, Analysis of the response to the consultation paper.

Electricity from Renewable Energy Sources in the European frame by 2010, ADEME.

New boost for renewables in the UK, CADDET UK National Team, Décembre 1998.

Guidance on Gas Treatment Technologies for Landfill Gas, Environment Agency, 2002.

5.2. Contexte et cadre réglementaire

En vue de diminuer les concentrations de gaz à effets de serre de 12 % d'ici 2008-2012 et celles de CO₂ de 20 % pour 2010, le gouvernement s'est fixé un objectif de production d'électricité par les énergies renouvelables de 10 % de la production totale d'ici 2010. Une étape intermédiaire à 2003 prévoit d'incorporer 5 % d'énergies renouvelables dans les fournitures des compagnies de distribution de l'électricité.

Pour cela, deux stratégies ont été mises en place :

- la garantie d'un marché compétitif (prix d'achat) de l'électricité produite par toutes les ressources renouvelables par le biais des NFFO (Non Fossil-Fuel Obligation) jusqu'en 2002 et remplacé depuis par les Renewable Obligations ;
- l'éco-taxe (Climate Change Levy).

Par ailleurs, plusieurs programmes sont mis en place pour la recherche, le développement et la promotion des énergies renouvelables (Sustainable Energy Programm).

5.2.1. L'Eco-taxe de la loi sur le changement climatique (Climate Change Levy)

Introduite en avril 2001, cette éco-taxe est appliquée aux industries et aux secteurs tertiaires en fonction de leur consommation d'électricité et de gaz. Cette taxe s'élève à 6,45 €/MWh. L'achat d'électricité « verte » de sources renouvelables permet l'exonération de cette taxe. Les distributeurs d'électricité « verte » doivent prouver l'origine de leur produit par des certificats.

5.2.2. Contrats NFFO et Renewable Obligation (RO)

Depuis 1990, le Royaume-Uni a créé des programmes de soutien aux énergies renouvelables, le NFFO (Non Fossil Fuel Obligation) en Angleterre, le SRO en Écosse et le NI NFFO en Irlande du Nord, qui avaient pour objectif la production de 1.500 MWe en 2000.

Tableau 7 : Tarifs moyens d'achat d'électricité à partir de sources renouvelables pour les 5 tranches NFFO (CADET 1998)

Programmes	Tarifs moyen d'achat (€/MWh)
NFFO 1 (1990)	108
NFFO 2 (1991)	105
NFFO 3 (1994)	65
NFFO 4 (1997)	52
NFFO 5 (1998)	41

Ce système a été remplacé en 2002 par « l' Obligation de Renouvelables » (Renewable Obligation, RO) dont les principes sont les suivants :

- ❑ Les compagnies de distribution d'électricité (distributeurs) d'électricité ont l'obligation d'incorporer 3 % de leur fourniture par de l'électricité de sources renouvelables. Cette obligation atteindra 10,4 % dans 10 ans.
- ❑ Les technologies éligibles couvrent toutes les énergies renouvelables dont l'hydraulique jusqu'à 20 MW et la biomasse, excepté l'incinération d'ordures brutes.
- ❑ L'attribution de certificats verts (ROC's, Renewable Obligation Certificates) commercialisables.
- ❑ Les distributeurs qui ne respectent pas l'obligation doivent payer l'électricité à un tarif fixé à 50 €/MWh. Cette somme est reversée (« recyclage ») aux distributeurs qui ont respecté l'obligation sur une base proportionnelle.
- ❑ La valeur des certificats verts est estimée à 65 €/MWh au départ. Les experts estiment que dans les premières années de fonctionnement de la RO, très peu de certificats verts vont être disponibles sur le marché et que les distributeurs vont être obligés d'acheter un volume important de leur obligation. Ainsi, pour un fournisseur donné, la valeur d'un certificat vert sera le prix d'achat d'au minimum 16 €/MWh plus le prix du « recyclage ».
- ❑ Les objectifs nationaux en termes de consommation d'électricité d'origine renouvelable sont de 9,4 TWhe en 2002 et de 33,6 TWhe en 2010.
- ❑ L'énergie doit être produite sur le territoire du Royaume-Uni et dans les eaux territoriales et fournie à des consommateurs au Royaume-Uni, les installations construites avant le 1^{er} janvier 1990 ne sont pas éligibles.
- ❑ La production d'énergie sous contrat NFFO, SRO et NI NFFO est éligible pour les certificats verts mais les revenus sont versés à l'Agence NFPA (Non Fossil Fuel Purchasing Agency) qui sert d'intermédiaire entre les distributeurs et les producteurs qui bénéficient de la prime.
- ❑ Le coût de raccordement est à la charge du producteur. En 1996, le coût de raccordement de 4 MWe sur du gaz de décharge (CET de Winterton) a coûté 480.000 €.

5.2.3. Programmes de développement des énergies renouvelables

La recherche, le développement et la démonstration des technologies productrices d'énergie de sources renouvelables et économiquement rentables sont soutenus par un programme national d'aide, le Sustainable Energy Programm.

Par ailleurs, la stratégie engagée sur les déchets encourage largement les technologies de valorisation énergétique de la biomasse comme la gazéification, la pyrolyse et la méthanisation.

5.2.4. Réglementation sur les émissions atmosphériques

La réglementation encadrant les rejets dans le milieu récepteur (air, eau, sol) est l'« Environmental Protection Act » de 1990 et depuis 2000 la réglementation PPC, adaptation de la Directive européenne (96/61/UE-« IPPC »). Ce cadre réglementaire définit donc un régime IPPC (Integrated Pollution Prevention Control) appliqué aux industries polluantes. Ce régime détermine les conditions d'exploitation et particulièrement les rejets autorisés et délivre les autorisations d'exploiter.

Afin d'évaluer les limites d'émissions, des Guides (« Guidance Notes »), édités par le Secrétariat d'Etat, donnent des indications sur les rejets selon les procédés. L'autorisation d'exploiter est délivrée au cas par cas selon ces guides et la mise en pratique des Meilleures Techniques Disponibles (« Best Available Techniques » ou BAT). Cette pratique est obligatoire pour la sélection des procédés représentant une solution équilibrée, bonne pour l'environnement et à un coût raisonnable.

Les inspections des sites sont réalisées deux fois par an en visite de routine et peuvent avoir lieu inopinément ou à la demande du voisinage.

Tableau 8 : Emissions limites autorisées pour la combustion du gaz de décharge dans des moteurs à gaz
(Source : Environment Agency 2002)

Valorisation	Moteur Gaz	Moteur Gaz
% O ₂	5 %	5 %
Puissance	toute, MES 1/1/98 au 1/11/04	toute, MES après 1/11/04
NOx	650	500
CO	1500	1400
COVNM	150	75
Poussières et autres composés	cas par cas (1)	cas par cas (1)
H ₂ S	cas par cas (1)	cas par cas (1)

(1) Les limites sont déterminées suivant les risques évalués sur chaque site

5.3. État des lieux

Le Royaume-Uni est le principal producteur de biogaz en Europe avec une production de près de 34 PJ. La majeure partie de sa production est issue des centres de stockages des déchets qui réceptionnaient encore en 1999, 80 % des déchets. En 2002, le Royaume-Uni compte plus de 300 installations de production de biogaz dont 2/3 sont des décharges réhabilitées :

- 201 installations de valorisation du gaz de décharge (moteurs et turbines), capacité totale de 424 MWe (programmes NFFO et RO, période 1990 - mi-2002) ;
- 90 installations de méthanisation de boues de stations d'épuration urbaines, capacité totale de 90 MWe (24 installations, capacité 25 MWe, entrent dans le cadre des programmes NFFO et RO, période 1990 - mi-2002).

De plus, sous les programmes NFFO et RO, des installations de valorisation énergétique de la matière organique ont été réalisées :

- 18 installations de traitement et valorisation énergétique des déchets ménagers et industriels (incinération, pyrolyse, gazéification) représentant 213 MWe installés ;
- 8 installations de valorisation énergétique de la biomasse, paille principalement (combustion, pyrolyse, gazéification) représentant 105 MWe installés.

Tableau 9 : Quantités d'énergie produite par la valorisation du biogaz au Royaume-Uni en 2000 (Source : Rapport annuel 2000 sur les énergies, Chapitre 7, ETSU)

	Décharge	STEP
% de la production totale EnR*	24,4 %	5,4 %
Énergie totale produite (PJ)	30,6	7
Énergie électrique valorisée (GWhe)	3344	560
Énergie thermique valorisée (PJ)	0,6	1,7

* Pourcentage de la production totale d'énergies renouvelables au Royaume-Uni

En 2000, la moitié des installations de valorisation a une puissance électrique comprise entre 0,8 à 1,2 MW.

6. Allemagne

6.1. Sources et contacts

Framework of Biogas Technology in Germany, German Biogas Association, RENEXPO Biogas International 2002.

Entwicklung der Erneuerbaren Energien, Aktueller Zustand, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Januar 2002.

Einsatzmöglichkeiten von Biomasse in Deutschland, Potenziale und Nutzung, Blickpunkt energiewirtschaft, Martin Kaltschmitt, 2003.

Der grüne Teil des fossilen Gasrechts, unverzichtbar und erneuerbar, Dr Claudius da Costa Gomez und Dr Wolfgang Tentscher, Fachverband Biogas e.V., 2001.

Rapport Environnemental allemand 2002, Ecologique, moderne, juste, la Modernisation écologique de l'économie et de la société, Ministre fédéral de l'Environnement, de la Protection de la Nature et de la Sécurité Nucléaire.

6.2. Contexte et cadre réglementaire

6.2.1. Contexte de la politique énergétique

Dès 1990, le gouvernement fédéral s'est fixé pour objectif, la réduction de 20 à 25 % des émissions de CO₂ par rapport à 1987, d'ici 2005 et de sortir progressivement de l'électronucléaire.

En octobre 2000, le gouvernement fédéral a adopté un Programme national de protection du climat qui prévoit :

- ❑ Une réduction de 21 % des six gaz de Kyoto (CO₂, CH₄, N₂O, HCFC, CFC et SF₆) pour la période de 2008 à 2012.
- ❑ Le doublement de la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique allemande totale, soit environ 12,5 % d'énergie électrique et 4,2 % de l'énergie primaire provenant de sources renouvelables d'ici 2010.
- ❑ Le maintien, la modernisation et le développement de la cogénération en vue d'une réduction supplémentaire des émissions de CO₂.
- ❑ De nouvelles hausses significatives de la productivité énergétique avec pour objectif le doublement de cette productivité entre 1990 et 2020, en d'autres termes, une même quantité d'énergie permettra en 2020 de produire environ deux fois plus qu'en 1990.

Ce programme s'est caractérisé par :

- ❑ L'adoption en mars 2000 de la loi fédérale EEG (Erneuerbare Energien Gesetz) et l'entrée en vigueur d'un décret sur l'utilisation de la biomasse (Biomasse Verordnung) en juin 2000.
- ❑ De programmes fédéraux et régionaux de promotion des énergies renouvelables (MAP, ZIP...).

6.2.1.1. **Loi sur les énergies renouvelables (EEG)**

Entrée en vigueur le 29 mars 2000, le but de cette loi, Erneuerbarer Energie Gesetz, est très clairement défini au premier paragraphe : « cette loi vise à faciliter le développement des renouvelables afin de limiter les changements climatiques et protéger l'environnement. La contribution des énergies renouvelables à la production totale d'énergie doit être doublée d'ici 2010 conformément aux objectifs annoncés par l'Union Européenne et la république fédérale allemande ».

Cette loi régit l'achat et la rémunération de l'électricité produite à partir des énergies hydraulique, éolienne, solaire, géothermique, de gaz de décharges et de stations d'épuration, du gaz de mine et de biomasse.

Les exploitants de réseau sont dans l'obligation de connecter à leur réseau les installations produisant de l'électricité d'origine renouvelable et rémunérer cette électricité fournie selon les tarifs fixés par cette loi.

Le prix d'achat de l'électricité produite par des installations construites après le 1^{er} janvier 2002 perd 1 %/an du prix d'achat fixé au départ et ceci pendant 20 ans.

Tableau 10 : prix d'achat de l'électricité produite à partir de différentes sources de biogaz pour des installations construites après le 1^{er} janvier 2002

Prix des énergies	€/MWh
Biomasse (< 500 kWe)	101
Biomasse (500-5000 kWe)	91
Biomasse (5000-20000 kWe)	86
Gaz de décharge, Biogaz de boues d'épuration (< 500 kWe)	76,7
Gaz de décharge, Biogaz de boues d'épuration (500-5000 kWe)	66,5

Les coûts de raccordement au réseau sont à la charge de l'exploitant d'installations de biogaz. L'extension du réseau est prise en charge par le gérant du réseau. Les coûts de raccordement peuvent être très élevés pour l'exploitant et dépendent de l'état du réseau et du point de raccordement. Ils varient de 5.000 à 100.000 €. Les exploitants de réseau en profitent parfois pour renforcer les réseaux. Afin de régler les litiges entre les exploitants de réseau et les installations produisant de l'électricité à partir d'énergies renouvelables, une commission réunissant le gouvernement, les sociétés fournisseurs d'énergie et les associations d'énergie renouvelables a été instaurée.

6.2.2. **Programme de soutien aux énergies renouvelables**

□ **Le Marktanreizprogramm zur Nutzung Erneuerbarer Energien (MAP)**

Ce programme, lancé en septembre 1999, permet d'obtenir des prêts à faibles taux d'intérêts pour la réalisation d'installations de production de biogaz, solaire thermique, photovoltaïque pour école, de combustion de biomasse solide, de petite hydraulique et de géothermie de surface.

La biomasse utilisée dans les installations provient de l'agriculture, de la forêt, des jardins et de l'agroalimentaire. Si les prêts sont appliqués directement par les banques locales, le crédit est quant à lui accordé par le KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau, www.kfw.de) à Frankfurt/Main, banque nationale qui fait la promotion de projets d'intérêt public.

Ce programme est financé par les fonds issus de l'éco-taxe dans le cadre de la réforme écologique de la fiscalité (Ökologischen Steuereform, ÖSR) qui s'appuie sur les éléments suivants :

- ❑ L'augmentation de la taxe sur les carburants de 3,07 c€ de 2000 à 2003.
- ❑ La promotion des carburants sans soufre par le biais d'une majoration fiscale de 1,53 c€/l sur les carburants à forte teneur en soufre.
- ❑ L'augmentation ponctuelle de la taxe effective sur le fuel lourd de 0,26 c€/kg à compter du 1^{er} janvier 2000.
- ❑ L'augmentation de la taxe sur l'électricité de 0,26 c€/kWh de 2000 à 2003.
- ❑ Dans le même temps, les taux de cotisations à l'assurance retraite ont affiché une baisse de 0,8 points répartie à part égale entre les salariés et les employeurs. En 2003, les taux de cotisation avec la réforme écologique de la fiscalité seront inférieurs de 1,7 point aux taux de cotisation tels qu'ils seraient appliqués sans la réforme.

❑ **Le Zukunfts-Investitions-Programm – ZIP**

Le gouvernement fédéral encourage la recherche sur les formes d'énergies porteuses d'avenir avec les fonds issus du produit des intérêts UMTS. De 2001 à 2003, 150 millions d'euros sont mis à la disposition pour la recherche, le développement et la démonstration de formes d'énergies respectueuses de l'environnement, notamment pour les énergies renouvelables et les piles à combustibles.

6.2.3. Guide d'exploitation technique d'une installation de biogaz

Un guide des bonnes pratiques sur les règles de sécurité applicables lors de la construction et l'exploitation des installations de biogaz, Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen, est réalisé par l'Association Allemande du Biogaz (Fachverband Biogas) depuis les années 90 et actualisé chaque année.

6.2.3.1. Loi sur les émissions atmosphériques

La TA-Luft fait partie de la législation allemande sur la protection de l'air (Bundesimmissionschutzgesetz, BImSchG). Elle fixe notamment les seuils d'émissions limites de plusieurs types de valorisation énergétique pour les différents combustibles.

Tableau 11 : Valeurs limites d'émissions en mg/m³ pour différentes installations de combustion, TA Luft du 24 juillet 2002

	Gaz de décharge, Biogaz, biogaz de boues urbaines	Gaz de décharge	Biogaz, biogaz de boues urbaines					Tous gaz
	Torchère (1200°C)	Moteur	Moteur Dual Fuel	Moteur Gaz	Moteur Dual Fuel	Moteur Gaz	Chaudière	Turbine
TA Luft	§ 5.4.8.1.a	§ 5.4.8.1.b	§ 5.4.1.4.	§ 5.4.1.4.	§ 5.4.1.4.	§ 5.4.1.4.	§ 5.4.1.2.3.	§ 5.4.1.5.
% d'O ₂ dans les gaz d'échappement	3%	5%	5%	5%	5%	5%	3%	15%
Puissance installation			> 3 MWth	> 3 MWth	< 3 MWth	< 3 MWth	< 50 MWth	< 50 MWth
Poussières totales	-	-	80*	80*	80*	80*	5	-
CO	100	650	650	650	2000	1000	80	100
NOx	200	500	500	500	1000	500	200	150
SOx	-	-	-	-	-	-	350	-

*300 heures/an de fonctionnement

Dual Fuel : moteur dual fuel, injection de moins de 10 % de fuel au gaz combustible

Gaz : moteur à gaz à allumage électrique (bougie)

6.2.4. Contexte de la politique déchets

6.2.4.1. Loi sur les déchets ménagers

La loi sur les déchets ménagers (KrW-/AbfG) en vigueur depuis 1996 a comme priorité la réduction de la quantité de déchets à enfouir ou incinérer, grâce à la réduction des déchets à la source et au recyclage matière et énergétique.

6.2.4.2. Décrets sur l'enfouissement (Abfallablagerung et Deponie-verordnung)

Les décrets sur l'enfouissement, Abfallablagerung du 1^{er} mars 2001 et le Deponieverordnung, entré en vigueur le 1^{er} juin 2002, stipulent qu'au plus tard le 1^{er} juin 2005, tous les déchets urbains devront avoir subi un traitement préalable, prétraitement thermique ou mécano-biologique, avant la mise en décharge.

6.2.4.3. Décret Biomasse issu de la EEG - Biomasse Verordnung (BiomasseV)

Entré en vigueur le 28 juin 2001, ce décret définit la biomasse (déchets de bois, déchets organiques, lisiers, matières d'origine végétale et animale), les procédés utilisables (installations de combustion, turbines à gaz et à vapeur, moteurs à combustion, moteurs Stirling, piles à combustibles, installations de méthanisation) et les exigences environnementales dès la production d'électricité.

6.3. État des lieux

Tableau 12 : Etat des lieux 2002 pour les installations allemandes productrices de biogaz
(Source : Kaltschmitt et Scheuermann 2003)

	Nombres d'installations	Puissances installées (MWe)	Electricité produite (PJ/an)	Energie primaire (PJ/an)
Biogaz à la ferme avec co-fermentation	1530	150	2,7	8,9
Biogaz Industries	70	28	0,6	2,1
Biogaz boues d'épuration	650	150	2,6	8,7
Gaz de décharges	320	140	2,2	7,3
Biogaz Biodéchets*	33	23	0,3	0,9
	2603	491	8,4	28

*estimation SOLAGRO

6.4. Potentiel Biogaz

Tableau 13 : Potentiel de production de biogaz

(Source : Peter Weiland, FAL, 2002, vu dans « Einsatzmöglichkeiten von Biomasse in Deutschland, Potenziale und Nutzung, Blickpunkt energiewirtschaft, Martin Kaltschmitt, 2003 »)

	Mt/an	Énergie primaire (PJ/an)
Lisiers + résidus de récoltes	205	77
Biomasse industrielle et biodéchets des ménages	24	38
Cultures énergétiques (1 million ha)	60	119
TOTAL	289	234

Sur les 65.000 GWh produits par an (234 PJ/an), 35.800 GWh/an peuvent être convertis en chaleur et 22.800 GWh/an en électricité.

Le potentiel techniquement accessible (60 % des ressources en matières organiques) est d'environ 10 fois supérieur à la production actuelle.

7. Suisse

7.1. Sources et contacts

Schweizerische Statistik der Erneuerbaren Energien, Ausgabe 2001.

7.2. Contexte et cadre réglementaire

7.2.1. Contexte de la politique énergétique

Les énergies renouvelables représentent 16,9 % de la consommation d'énergie du pays.

Le programme Energie 2000 est arrivé à son terme. Les buts fixés par ce programme pour les énergies renouvelables ont été dépassés de 58 % pour l'électricité. En revanche, dans le cas de la chaleur, ils n'ont été atteints qu'aux trois-quarts environ. En 2001, le Conseil fédéral a lancé le Programme Suisse Energie, qui s'inscrit dans la continuité de Energie 2000, et qui s'achèvera en 2010. En matière d'énergies renouvelables, ce programme fixe les objectifs suivants :

- ❑ la production d'électricité de sources renouvelables doit augmenter de 500 GWh jusqu'en 2010 (hors hydraulique) ;
- ❑ la production de chaleur doit augmenter de 3.000 GWh jusqu'en 2010.

Depuis 1 an, ce programme a permis d'atteindre 6 % de l'objectif fixé pour l'électricité et 14 % pour la chaleur.

Le prix d'achat moyen de l'énergie fixé par l'Ordonnance fédérale sur l'énergie se situe autour de 100 €/MWh. Aujourd'hui à la demande des consommateurs, le principe de « courant vert » se développe. Le « courant vert » distribué en Suisse doit satisfaire aux critères du label « Naturemade » spécifique à chaque type de production d'énergie renouvelable. Le tarif d'achat du courant ainsi labellisé fait l'objet de négociations entre producteurs et distributeurs, de cas en cas selon les régions.

Les émissions atmosphériques limites autorisées après combustion du biogaz ou gaz de décharge dans des moteurs thermiques sont données dans la loi sur l'air LRV SR 814.318.142.1 du 16/12/1985 actualisé le 15/12/1997, entré en vigueur le 1^{er} mars 1998.

Tableau 14 : Limites d'émissions en mg/Nm³ après combustion dans les moteurs, à 5 % d'O₂

Type de combustibles	Biogaz et gaz décharge		Gaz naturel	Biogaz gaz de décharge	Autres combustibles
	Dual Fuel	Gaz	Dual Fuel		
Type de moteur	Dual Fuel	Gaz	Dual Fuel		
Puissance	> 10 kg/h	> 50 kg/h	> 10 kg/h	> 100 kWth	> 100 kWth
Poussières	100	100	100	50	100
CO	650	65	650	650	650
NO ₂	400	400	80	400	250

Les émissions de SO₂ dépendent de la région et varient de 50 mg/Nm³ (Zürich) à 120 mg/Nm³ dans le reste de la Suisse alémanique.

7.2.2. Contexte de la politique déchets

En ce qui concerne la politique de gestion de déchets, l'Etat fédéral a interdit depuis le 1^{er} janvier 2000, de mettre les déchets combustibles en décharge (Ordonnance sur le traitement des déchets, OTD 814.600). Ainsi, les déchets urbains non recyclés, les boues d'épuration non valorisées, les déchets industriels combustibles ainsi que les déchets de chantier combustibles doivent être incinérés dans des installations appropriés. Seuls les déchets stabilisés («mis en contact avec d'autres résidus stabilisés, de l'eau ou de l'air, les déchets ne peuvent produire ni gaz ni substances très solubles dans l'eau») ou inertes sont acceptés en CET. Les caractéristiques des déchets pouvant être enfouis sont données dans l'Annexe 1 de l'Ordonnance 814.600.

7.3. État des lieux

Tableau 15 : Etat des lieux 2001 pour les installations suisses productrices de biogaz
(Source : EICHER + PAULI AG, 2002)

Types biogaz	Nombre d'installations	Energie primaire produite PJ/an	Electricité valorisée GWhe/an	Chaleur valorisée PJ/an
Biogaz à la ferme avec co-fermentation	71	0,07	1,5	0,0126
Biogaz Industries	18	0,11	0,7	0,0744
Biogaz boues d'épuration*	294	1,87	43,0	0,994
Gaz de décharges	11	0,50	15,1	0,068
Biogaz Biodéchets	13	0,13	3,2	0,02
TOTAL	407	2,68	63,47	1,17

* Ne sont comptées que les stations d'épuration valorisant le biogaz pour la production d'électricité, le nombre de stations ne valorisant que la chaleur n'est pas connu mais est estimé à 150 environ, soit au total environ 450 stations produisant du biogaz.

8. Suède

8.1. Sources et contacts

Biogas technology and biogas use in Sweden, réalisé par NOMIK AB pour le compte du Service Transport de la ville de Göteborg, novembre 2000.

The existing measures of promoting RES-E in the Nordic countries, Electrowatt-Ekono oy, décembre 2002.

8.2. Contexte et cadre réglementaire

Depuis 1997, la Suède est engagée sur une politique de développement de l'approvisionnement énergétique durable et soutenable dont le premier objectif est l'abandon de l'énergie électronucléaire et par voie de conséquence le développement des énergies renouvelables. En 1999, 26 % de l'énergie primaire sont d'origine renouvelable, hydraulique et biomasse principalement. L'objectif fixé par la Directive Européenne est de produire, en 2010, 60 % de l'électricité à partir de sources renouvelables.

Depuis le 1^{er} janvier 2003, le principe d'obligation d'achat d'électricité produite à partir de sources renouvelables pour les distributeurs et les consommateurs finaux a été adopté avec une mise en place du système de certification verte pour mai 2003. Le quota d'achat d'électricité d'origine renouvelable est de 6,7 % de la quantité totale d'électricité achetée et atteindra 15,6 % en 2010.

Un prix d'achat de base sera fixé jusqu'en 2008 pour compenser la réduction des aides (7 €/MWh en 2003, 2 €/MWh en 2007 et 0 €/MWh en 2008). Pour les consommateurs et distributeurs ne remplissant pas l'obligation d'achat, le prix de l'électricité est de 150 % du prix moyen des certificats verts et au maximum, pour les premières années de 31 €/MWh.

Du fait du faible coût de l'électricité et des ressources en bois pour le chauffage par réseau de chaleur, la Suède s'est engagée dans une voie de valorisation du biogaz en carburant.

Le carburant produit à partir de biogaz est détaxé, à Göteborg les véhicules roulant au biogaz bénéficient de parking en ville gratuit. Comparable au diesel, le prix du biogaz carburant varie selon la municipalité. Huit sociétés suédoises sont spécialisées dans l'épuration du biogaz destiné à la carburation de véhicules.

Parallèlement, en matière de gestion des déchets, depuis 1996, l'Agence pour la protection de l'environnement (Swedish Environmental Protection Agency) a développé un Programme d'Action dont le principal objectif est de ne plus enfouir de déchets organiques en décharges d'ici 2005 et ainsi de favoriser la méthanisation et le compostage.

8.3. État des lieux

Sur une consommation de 480 TWh/an d'énergie dans le pays, 1,4 TWh/an provient du biogaz, soit 5 PJ/an.

2,5 % du biogaz produit, soit 40 GWh/an ou 0,14 PJ, sont valorisés en carburant, le reste est valorisé en électricité et chaleur.

Près de 2.000 véhicules roulent au biogaz, majoritairement des bus. 8 compagnies suédoises possèdent une activité d'épuration du biogaz. Environ 20 installations de production de biogaz (boues urbaines, effluents agricoles, co-méthanisation avec des déchets industriels) sont équipées d'un traitement poussé du biogaz (élimination du CO₂ (2 %), H₂S, poussières, eau) et alimentent les flottes de véhicules municipaux ou des particuliers.

Tableau 16 : Etat des lieux 2000 pour les installations suédoises productrices de biogaz
(Source : NOMIK AB 2000)

	Nombre d'installations	Energie produite PJ/an
Biogaz à la ferme avec co-fermentation	6	0,04
Biogaz Industries	8	0,3
Biogaz boues d'épuration	134	2,9
Gaz de décharges	59	1,5
Biogaz Biodéchets	10	0,1
TOTAL	217	4,84

Les stations d'épuration valorisent en grande majorité le biogaz produit en électricité et chaleur et pour les plus grandes unités en biogaz carburant. Par exemple, le biogaz produit par les stations d'épuration de Stockholm permet de chauffer 150.000 foyers, de couvrir 45 % des besoins en électricité de la station, de couvrir la totalité des besoins de chaleur de la Stockholm Water Company et d'alimenter une flotte de véhicules.

9. Irlande

9.1. Sources et contacts

Livre Vert sur les énergies renouvelables, site internet du Centre irlandais de l'Energie, Bureau d'informations sur les énergies renouvelables : www.irish-energy.ie

Developing Biomass in Irland, REIO Annual Wood Energy Study Tour, Fiona Jennings, 2002.

9.2. Contexte et cadre réglementaire

Afin d'atteindre les objectifs annoncés de production d'électricité à partir de sources renouvelables, 10 % en 2000 et 20 % en 2010, le gouvernement irlandais lance en 1994 le programme AER (Alternative Energy Requirement). Il s'agit de procédures d'appels d'offres ouvrant le marché de la production d'électricité à des producteurs indépendants. Les contrats de vente d'électricité sur le réseau ESB sont basés sur tarif d'achat fixé maximum (« price cap ») et garantis sur une période de 15 ans, au-delà le prix sera indexé sur le prix à la consommation. Une commission de régulation de l'énergie (CER) a été mise en place.

En 1995, les objectifs de la première tranche AER 1 était de faire passer la production d'énergie renouvelable de 55 MW à 235-290 MW de chaleur cogénérée et de 25 MW à 67-92 MW d'électricité. Ce but ayant été atteint, il a été décidé d'augmenter les objectifs et de poursuivre les tranches AER. A ce jour, 4 tranches AER ont été réalisées et deux tranches supplémentaires sont en cours (AER 5 et 6).

Pour la production d'énergie à partir de biomasse, les objectifs pour 2006 sont la mise en place de 84 MWe et 50 MWth avec 11 % provenant de gaz de décharge et 2 % de biogaz de méthanisation.

En plus de ce programme d'appels d'offres au mieux-disant, d'autres initiatives gouvernementales sont mises en place pour le développement des énergies renouvelables :

- ❑ Les programmes européens (ALTENER, THERMIE).
- ❑ Des mesures fiscales : d'après la Loi de finance (Section 62 of the Finance Act, 1998) les investissements sont déductibles des impôts à hauteur de 50 % pour un projet jusqu'à 11,5 millions d'euros.
- ❑ L'information : création du Bureau d'information des énergies renouvelables (REIO).
- ❑ La mise en place d'un groupe de travail depuis 1995, chargé de développer les règles de connection au réseau.
- ❑ La promotion de la recherche et développement dans le secteur des énergies renouvelables.

Tableau 17 : Programmes AER 1994-2002 (Source : www.irish-energy.ie)

Tranches	Projets soutenus (MWe)	Nombre de projets opérationnels en 2003	Puissance installée (MWe)	Projets	Price cap (€/MWh)
AER 1 (1994)	144	21	459,9	5 installations sur gaz de décharges 12 MW au total et 0,15 MW pour une installation agricole	51
AER 2 (1995)	30			Projet "déchets"	
AER 3 (1997)	159	1	3	1 projet de 3 MW sur gaz de décharge	35
AER 4 (1997)	0,3				
Thermie (1990-98)	34,4	3	10,6	Projets éoliens	
AER 6 (2002)					59
TOTAL	367	25	74		

La production de biogaz est estimée à 0,99 PJ/an pour le gaz de décharge avec 15 MWe installés et 0,01 PJ/an pour les installations à la ferme.

Les potentialités de valorisation du gaz de décharges sont estimées à 305 MWe sur 25 sites d'ici 2020.

10. Pays-Bas

10.1. Sources et contacts

The dutch renewable electricity market in 2003 – An overview and evaluation of current changes in renewable electricity policy in the Netherlands, ECN, April 2003.

Site web du Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de l'Environnement, www.minvrom.nl

10.2. Contexte et cadre réglementaire

10.2.1. Contexte de la politique énergétique

D'ici 2010, conformément aux objectifs de la Commission européenne, les Pays-Bas doivent produire 9 % de l'électricité totale à partir de sources renouvelables et 17 % d'ici 2020, d'après les engagements gouvernementaux de 1997, soit 10 % de l'énergie primaire de sources renouvelables.

Le nombre de consommateurs d'électricité renouvelable est passé de 250.000 en 2001 à 1,4 million en janvier 2003 du fait :

- ❑ de l'exemption de l'écotaxe (60 €/MWh) et d'une prime (20 €/MWh), rendant le prix de l'électricité renouvelable égal à celui de l'électricité traditionnelle ;
- ❑ de l'ouverture depuis juillet 2001 du marché de l'électricité renouvelable avant celui de l'électricité traditionnelle prévu pour janvier 2004.

Le principe de l'écotaxe est de prélever une taxe sur l'électricité traditionnelle permettant de financer le surcoût de production de l'électricité renouvelable qui en est exonérée.

Cette mesure a provoqué l'augmentation de la demande et l'importation d'électricité renouvelable étrangère, soumise à la même mesure, sur le marché néerlandais (de 1,4 TWh en 2000 à 7,5 TWh en 2001) entraînant une forte diminution des rentrées d'impôts pour le gouvernement. Ainsi pour atténuer les effets de cette mesure et rassurer les investisseurs néerlandais, une nouvelle politique a été engagée en 2002 via un amendement à la Loi sur l'électricité de 1998 appelé « qualité environnementale de la production d'électricité » (MEP). Cet amendement prévoit la baisse de l'écotaxe de 60 à 29 €/MWh, la suppression de la prime et la mise en place d'un tarif d'achat fixé annuellement par le ministère de l'Economie. Ce tarif (« feed-in tariff ») est différent suivant la source d'énergie renouvelable et est au maximum de 70 €/MWh. Il est financé par un impôt sur la connexion au réseau national d'électricité. Le soutien financier total est la somme de l'écotaxe évitée 29 €/MWh et du « feed-in tariff » et assuré pendant les 10 années suivant la mise en route de l'installation.

Le marché de l'électricité renouvelable, c'est-à-dire la vente sur le réseau, est celui du système d'échange de certificats verts que le producteur reçoit du Green Certificate Body et vend sur le marché au prix du marché.

Toutes les énergies renouvelables sont concernées par cette nouvelle politique de soutien. La production de gaz de décharge et de biogaz est considérée comme étant viable sans tarif supplémentaire à l'exonération de l'écotaxe. Ainsi l'électricité produite à partir de biogaz est soutenue à hauteur de 29 €/MWh.

10.2.2. Contexte de la politique déchets

Après les Plan NEPP 1 à 3, les Pays-Bas ont engagé aujourd'hui le Plan National de la Gestion des Déchets (LAP) couvrant les 2002 à 2004. Celui-ci définit des limites de plus en plus strictes pour l'enfouissement et l'incinération et les règles de libéralisation du marché des déchets.

Le principal objectif de ce Plan est de favoriser la valorisation des déchets par le recyclage et par l'utilisation en carburant et de passer de 76 % d'utilisation des déchets en 2002 à 83 % en 2012. Un autre objectif est d'assurer que seuls les déchets ne pouvant être recyclés ou incinérés soient enfouis. Enfin, le dernier objectif du Plan est de privatiser les unités d'incinération, actuellement 99 % des unités sont gérées par les provinces ou municipalités, et d'ôter les quelques contraintes à l'import/export.

11. Italie

11.1. Sources et contacts

Site web : www.eco-web.com

Incentives to the Energy Production from Renewable Sources, G. Puopolo, 2003.

Green Certificates in Italy, G. Puopolo & R. Croce, 2003.

Legal and practical considerations for the construction of alternatives energy plants, A. Sistilli & G. Puopolo, 2001.

Rapporto sullo stata della bioenergia in Italia al 2001, Gruppo di Supporto Technico-Scientifica « Bioenergia », Ministero delle Politische Agricole e Forestali, Roma aprile 2002.

« Il biogas energia alternativa : propettive in zootecnia » - Convegno Internazionale a Fieragricola 2003, Mars 2003.

11.2. Contexte et cadre réglementaire

Conformément aux engagements européens, 12 % de la consommation totale d'énergie en Italie doivent être d'origine renouvelable d'ici 2010. Depuis la Résolution 6/92, les installations de production d'énergies renouvelables sont régulées par le Comité Interministériel des Prix (CIP). Toutefois, depuis 1999, le cadre législatif a évolué vers un soutien de l'état et des régions via la mise en place des certificats verts et de programmes d'aides. Les installations soumises au « CIP 6/92 » conservent leur type de soutien et ne sont pas soumises au nouveau système.

Depuis 1999, plusieurs ministères ont fait évoluer le cadre législatif en vue de la promotion des énergies renouvelables et l'atteinte des objectifs fixés :

- ❑ Le « Décret Bersani » n°79/99 qui oblige les distributeurs d'énergie sur les circuits nationaux à délivrer de l'énergie de sources renouvelables à hauteur d'au moins 2 % de la totalité de l'énergie traitée l'année précédente. Ce décret est à la base de la mise en place du système de certificats verts.
- ❑ Le décret du 11 septembre 1999 du ministère de l'Agriculture qui définit les aides disponibles pour la production et l'utilisation des énergies renouvelables dans le secteur agricole et notamment à partir de biomasse. Ce décret est l'aboutissement d'un programme lancé par le ministère de l'Agriculture et avec le soutien de l'ITABIA (Association italienne de la Biomasse, www.itabia.it).
- ❑ Le décret du 20 Juillet 2000 du ministère de l'Environnement définissant les critères d'attribution d'aides nationales et locales dans les programmes de protection de l'environnement par la production d'énergie renouvelable.
- ❑ Le décret du 8 mai 2000 du ministère de l'Industrie, du Commerce et de l'Artisanat qui prévoit des aides pour les producteurs individuels auto-consommateurs d'énergie renouvelable.
- ❑ Loi de Finance pour 2001 du 23 décembre 2000 créant le Fond pour la réduction des émissions polluantes atmosphériques et la promotion des énergies renouvelables pour le financement de programmes nationaux et régionaux.
- ❑ Le décret du 9 mai 2001 du ministère de l'Industrie, du Commerce et de l'Artisanat qui établit les règles du marché de certificats verts. L'échange de certificats verts est opérationnel depuis début 2003. Si au départ la valeur du certificat est fixée par l'Administration des réseaux nationaux, son prix est ensuite fonction du marché. Des estimations réalisées en 2000 pour l'année 2002, donnent le prix du certificat vert entre 52 et 73 €/MWh.

11.3. État des lieux

Tableau 18 : Etat des lieux de la production de biogaz en Italie

(Sources : Rapport sur les Bioénergies, ministère de l'Agriculture, 2002 et « Il biogas energia alternativa : prospettive in zootecnia » - Convegno Internazionale a Fieragricola 2003, Mars 2003)

Types biogaz	Année	Nombres d'installations	Puissances installées (MWe)	Electricité produite (PJ/an)	Energie primaire (PJ/an)
Biogaz à la ferme avec co-fermentation	1999	72**	36	0,48	0,16
Biogaz Industries	1998	2	2	0,05	0,02
Biogaz boues d'épuration	1999	120	8	0,10	0,03
Gaz de décharges	1999	89	128	5,13	1,7
Biogaz Biodéchets*	2002	4	5	0,16	0,05
TOTAL		287	179	6	2

* Estimations SOLAGRO

** L'Italie compte 5 unités de co-digestion et 67 installations de méthanisation à l'échelle de la ferme, principalement situées 3 régions du Nord (Emilie Romagne, Lombardie et Trentin Haut Adige).

12. Espagne

12.1. Sources et contacts

Review of Energy Efficiency CO2 and Price Policies and Measures in EU countries and Norway in 2001, ENERDATA s.a., avril 2002.

Plan de Fomento de la energias renovables, IDAE (Institut pour la diversification et la maîtrise de l'Energie www.idae.es), décembre 1999.

Site internet www.appa.es, Renewables in Spain, Asociacion de Productores de Energias Renovabkess – APPA, 2001.

Biomasse survey in Europe, Country Report of SPAIN-ANDALUSIA, EUBIONET, European Bioenergy Networks, ALTENER, SODEAN, 2002.

12.2. Contexte et cadre réglementaire

La promotion des énergies renouvelables en Espagne a été orientée par 3 plans nationaux successifs : le PER '86 , le PER '89 et le PAEE 1991-2000 (Plan de la maîtrise et l'efficacité énergétique). Ces Plans donnaient les objectifs de production d'énergies renouvelables et les modalités d'accompagnement des projets. Le PAEE avait pour objectif de réduire de 7,6 % la consommation d'énergie et porter à 10 % la contribution des énergies renouvelables dans le bilan énergétique national.

Depuis 2000, le Plan pour la promotion des Energies Renouvelables 2000-2010 a été adopté en décembre 1999. Ce plan, soutenu par l'IDAE et ses 30 agences régionales, consiste à réduire la consommation d'énergie et à promouvoir le développement des énergies renouvelables en vue d'atteindre une production d'énergie de source renouvelable correspondant à 12 % de l'énergie primaire totale.

De plus, l'Etat finance les projets de recherche et développement industriel et les activités de démonstration par le biais de programmes nationaux (National Energy Plan). Plusieurs régions Autonomes ont établi leurs propres soutiens aux énergies renouvelables par le biais de programmes régionaux.

Parallèlement, depuis 1997, une politique de financement de l'électricité produite à partir de sources renouvelables est mise en place. En effet, en novembre 1997, la loi sur l'Electricité, application de la Directive Européenne, marque l'ouverture du marché de l'électricité aux énergies renouvelables et fixe les modalités d'achat. Les producteurs d'énergies d'origine renouvelables sont soumis à un régime spécial (*Regimen Especial*).

Cette loi, Décret Royal de 1998 (R.D. 2818/1998) garantit deux systèmes d'achat de l'électricité d'origine renouvelable :

- Un tarif fixe réactualisé chaque année par le Gouvernement ;
- Une tarification correspondant au prix du marché de l'électricité plus une prime, fonction de plusieurs paramètres (puissance, efficacité énergétique, coût d'investissement...).

Pour les années 2001 et 2002, les tarifs d'achat de l'électricité produite à partir de la biomasse primaire (utilisation directe ou après une transformation de la biomasse inférieure à une année), de la biomasse secondaire (résidus après une première utilisation) sont donnés dans le tableau suivant.

Le tarif d'achat de l'électricité à partir de déchets municipaux, boues urbaines et résidus industriels est garanti par le système à prime. En 1999, la prime était de 22 €/MWh pour des puissances inférieures à 10 MWe.

Tableau 19 : Tarifs d'achat de l'électricité produite à partir de biomasse (Source : IDAE 2003)

	2002	2002	2003	2003
	Système "Premium"	Système "Prix fixe"	Système "Premium"	Système "Prix fixe"
€/MWh	Tarif Prime	Prix fixe	Prime	Prix fixe
Biomasse primaire	27,887	61,724	33,25	68,575
Biomasse secondaire	25,783	59,620	25,136	60,582

12.3. État des lieux

Jusqu'à ces dernières années, l'Espagne occupait une place modeste en termes de production de biogaz par habitant. Grâce à l'évolution du cadre réglementaire sur l'énergie et les déchets, le parc évolue rapidement. En 2000, près de 120 installations, dont une très large majorité d'unités de méthanisation de boues urbaines, produisait 2 à 3 PJ/an. Pendant que la méthanisation à la ferme diminue fortement, la méthanisation des déchets est en constante augmentation (6 unités de méthanisation de déchets ménagers résiduels et biodéchets ont été réalisées depuis 2000).

L'IDAE prévoit pour 2010 une production de 150 ktep/an de biogaz en estimant une faisabilité technico-économique pour la méthanisation de déchets ménagers à 255 t/j et une capacité d'au moins 100.000 équivalents-habitants pour la méthanisation des boues urbaines, industrielles et des effluents agricoles.

Tableau 20 : Estimation de la production de biogaz en Espagne (Source : Plan pour la promotion des énergies renouvelables 2000-2010, IDAE, 2000 et site internet Association des Producteurs des EnR, 2003)

	Production 2001 (PJ/an)	Potentiel 2010 (PJ/an)
Biogaz Déchets	1,8*	2,3
Biogaz Effluents agricoles	0,2*	0,3
Biogaz boues d'épuration	2,1*	2,4
Biogaz industries	0,7*	1,1
TOTAL	4,8	6

* Estimations SOLAGRO

13. Danemark

13.1. Sources et contacts

Technology, economy and management experience in Danish Biogas Systems, Jens Bo Holm-Nielsen et al., International symposium in Japan on « Issues Concerning Biogas Plants in Cold-Snow regions », mars 2003.

The existing measures of promoting RES-E in the Nordic countries, Electrowatt-Ekono oy, décembre 2002.

Site web du Ministère danois de l'Economie et des Finances, www.ens.dk

Site web de l'Agence de la protection de l'environnement, Ministère danois de l'Environnement, www.mst.dk

13.2. Contexte et cadre réglementaire

En 1996, le gouvernement danois, déjà très actif dans le soutien au développement des énergies renouvelables depuis 1980, lance un Plan Energétique à long terme, le Programme Energie 21, qui fixe l'objectif de produire d'ici 2030, 240 PJ/an d'énergies à partir de sources renouvelables, dont deux-tiers à partir de biomasse.

Depuis les années 80, le « modèle danois » de production de biogaz, installations de codigestion centralisée de différents substrats organiques (effluents d'élevage, déchets organiques ménagers et industriels), avec valorisation de la chaleur par les réseaux de chaleur et vente de l'électricité sur le réseau, s'est largement développé dans tout le pays grâce à une politique incitative forte.

Les objectifs environnementaux nationaux sont :

- ❑ Recyclage de 30 % des déchets ménagers d'ici 2004 et 50 % à long terme.
- ❑ Doubler la production de biogaz en 2005 par rapport à celle de 1995 et produire près de 20 PJ/an en 2030.
- ❑ Atteindre 29 % de la production d'électricité à partir de sources renouvelables en 2010, en 2001 la production était de 17 % par rapport à la production totale dont 3,5 % provient du biogaz.

La politique engagée pour atteindre ces objectifs est basée sur les points suivants :

- ❑ Obligation de stockage du lisier pendant 9 mois, épandage autorisé restreint au printemps et en début d'été et en quantité restreinte.
- ❑ Interdiction d'enfouir des déchets organiques en CET. Les déchets ménagers pouvant être recyclés ou incinérés le sont prioritairement (Objectifs du Plan national Waste 21).
- ❑ Forte taxation sur l'incinération et exonération de taxe sur le recyclage (Loi consolidée N° 570 du 3 août 1998 relative aux taxes sur les déchets et matériaux bruts, amendée par les lois n°1034 du 23 décembre 1998 et n°380 du 2 juin 1999).
- ❑ Obligation d'achat de l'électricité à un prix fixé par la loi à 36 €/MWh (0,27 DKK/kWh), payé par les distributeurs équivalent aux coûts évités s'y ajoutent des primes (taxes sur l'énergie, prime aux énergies renouvelables, aides à l'investissement) portant le prix moyen d'achat à 70-80 €/kWh. Le passage au système de certificats verts a été repoussé en attendant le retour des expériences européennes.

- ❑ Aide à l'investissement de 20 à 40 % jusqu'en 2000, baissée depuis de 0 à 20 %.
- ❑ Exonération de taxe sur la production de chaleur à partir de biogaz.
- ❑ Taux d'intérêt réduit pour le financement d'une installation de production de biogaz.
- ❑ Programmes de soutien : de 1985 à 2000, 5 programmes nationaux d'accompagnement à la production de biogaz, piloté par la Danish Energy Agency (DEA) ont permis de soutenir les projets de R&D, de démonstration de dissémination de l'expérience collective...

De plus, de nombreuses conditions favorables au développement de la méthanisation sont regroupées au Danemark :

- ❑ Gisement important d'effluents d'élevage (48 millions de tonnes par an).
- ❑ Industries agroalimentaires concentrées dans les zones d'élevage (production de déchets organiques et valorisation d'énergie possible à proximité des installations de production de biogaz).
- ❑ Perception positive de la société des avantages de la codigestion de différents substrats organiques, soutenue de plus par les autorités vétérinaires et environnementales.
- ❑ Existence de réseaux de chaleur dans tous le pays.
- ❑ Demande de chaleur 8 à 10 mois par an.

13.3. État des lieux

Tableau 21 : Production de biogaz au Danemark en 2002
(Source : Danish Biogas System, Jens Bo Holm-Nielsen 2003)

	Nombre d'installations	Energie primaire produite PJ/an
Biogaz à la ferme avec co-fermentation*	65	1,722
Biogaz Industries	5	0,15
Biogaz boues d'épuration	64	0,875
Gaz de décharges	26	0,604
TOTAL	160	3,351

* biodéchets ménagers, déchets organiques industriels

En 1999, la production était de 2,67 PJ/an. Le potentiel de production de biogaz est basé sur la méthanisation d'effluents d'élevage, 70 % des 37 PJ/an de gisement théorique.

14. Pologne

14.1. Sources et contacts

EC Baltic Renewable Energy Centre (EC BREC, <http://www.ibmer.waw.pl/ecbrec>), M. Krystof Gierulski.

14.2. Contexte et cadre réglementaire

La Pologne produit, en 1999, 100 PJ/an d'énergie de sources renouvelables, soit 2,5 % de la quantité d'énergie primaire totale consommée (4.000 PJ/an). La Pologne s'est fixée l'objectif de produire 7,5 % d'énergie renouvelable en 2010 et 14 % en 2020.

Le paysage énergétique polonais, basé jusque-là sur la consommation d'énergie issue du charbon, est en train de changer et les énergies comme le gaz naturel et les énergies renouvelables deviennent plus intéressantes. De plus, depuis l'introduction de la « Régionalisation », l'électricité est plus chère en zone rurale et la production d'énergie locale est plus avantageuse.

Aujourd'hui, aucun programme n'est véritablement fixé pour le développement des énergies renouvelables en Pologne. Seule une réduction de la « taxe agricole » (Loi sur la taxe agricole du 15 Novembre 1984, Journal Officiel de 1993, n°94, paragraphe 431) peut être envisagée dans le cas de projets sur les exploitations agricoles : éolien, biogaz, solaire et hydraulique.

Les coûts de production des différentes technologies de production d'énergies renouvelables ont été estimés et comparés aux prix de vente moyens de chaleur ou d'électricité (voir tableau). Ceux-ci montrent clairement que ces technologies ont besoin d'un soutien financier.

Tableau 22 : Coûts de production de l'électricité et de la chaleur à partir de sources renouvelables
(Source : EC BREN 2003)

Technologies	Chaleur €/GJ	Electricité €/kWh
Groupe 1		
Solaire thermique air chaud	5,05	/
Chauffage bois, paille (petites installations manuelles)	5,65	/
Chauffage paille (installations automatiques)	7,28	/
Hydroélectricité (petites installations)	/	0,06
Gaz de Décharge	/	0,06
Groupe 2		
Grand Eolien	/	0,13
Chauffage biomasse (installations automatiques)	8,30	/
Groupe 3		
Solaire thermique eau chaude	36,83	/
Photovoltaïque	/	2,22
Petit Eolien	/	0,26
Biogaz à la ferme	12,78	/
Géothermie	15,45	/
Prix moyens de vente	6,23	0,05

Groupe 1 : Technologies au coût de production inférieur ou égal aux technologies conventionnelles.

Groupe 2 : Technologies au coût de production supérieur aux technologies conventionnelles mais compétitives sous certaines conditions (aides à l'investissement, prêts à taux préférentiel, situation géographique).

Groupe 3 : Technologies au coût de production, avec 50 % d'aide sur l'investissement, supérieur aux technologies conventionnelles.

Aujourd'hui, les projets peuvent être aidés par plusieurs organismes d'état ou européen. Au niveau des installations de production de biogaz, les fonds suivants peuvent être envisagés :

NFOSiGW (Fond pour la protection nationale de l'environnement et de la gestion de l'eau) : prêts et/ou subventions, au cas par cas, possibilité de couvrir la totalité de l'investissement.

- ❑ BOS (Banque de la protection de l'environnement) : prêts jusqu'à 50 % (70 % pour les collectivités locales) de l'investissement, sans restriction de durée et taux d'intérêt de 7 %.
- ❑ WFOSiGW (Fonds indépendant de Voivod pour la protection de l'environnement) : aides et taux d'intérêts préférentiels.
- ❑ ECOFUND (fondation du Trésor Public provenant de la conversion de la dette polonaise) : subventions de 10 à 30 % de l'investissement.
- ❑ GEF Small Grant Programm (Programme des nations-unis pour la protection de l'environnement) : Aides jusqu'à 50.000 €.

14.3. État des lieux

98 % de l'énergie de source renouvelable proviennent de la biomasse, essentiellement l'utilisation de bois, résidus de bois et paille pour le chauffage dans les zones rurales et dans les réseaux de chaleur.

Si les techniques de gazéification ne sont pas encore développées, le gisement de biomasse disponible est important : paille, bois, courtes rotations.

- Depuis 1990, le surplus de production de paille est en constante augmentation, majoritairement dans les anciennes fermes d'état, où elle est brûlée directement sur les champs. Sur les 25 millions de tonnes de paille produites chaque année, une grande majorité peut être utilisée pour la production d'énergie.
- Près de 30 % de la surface polonaise sont occupés par la forêt. En 1997, 22 millions de m³ de bois, dont 2,5 millions de bois de chauffage ont été débités. Il est estimé que 2,5 millions ne sont pas exploités et restent en forêt.
- Aujourd'hui, 100 ha de taillis à courtes rotations sont plantés à des fins énergétiques.

La production de biogaz correspond essentiellement au captage du gaz de décharge et à la méthanisation des boues urbaines. Ces deux types sont amenés à augmenter dans les années qui viennent.

La Pologne compte 700 décharges, dont 100, les plus importantes, pourraient faire l'objet d'un captage. Aujourd'hui 16 d'entre elles sont équipées de captage et de valorisation en cogénération ou en chaudière sur des unités de plus de 1 MW. L'électricité est vendue sur le réseau et la chaleur est utilisée directement sur le site ou raccordée au réseau de chaleur urbaine. En 1999, 5,44 MWe et 3,5 MWth étaient installés.

30 installations de digestion anaérobie de boues urbaines sont aujourd'hui en fonctionnement en Pologne, soit 14,5 MWe et 24,4 MWth. Le potentiel est très important puisque la Pologne compte 1.759 stations d'épuration industrielles et 1.471 stations d'épuration municipales de traitement de boues organiques. La production est actuellement de 250.000 t de MS/an et est amenée à doubler avec la rénovation des stations dans les années à venir.

Ces 20 dernières années ont vu se développer des installations individuelles de méthanisation à la ferme. Aujourd'hui, plus aucune n'est en service du fait de problèmes techniques.

Il faut noter la réalisation du premier projet de co-digestion à Koczala (Nord de la Pologne) intégré avec une chaudière à plaquettes, raccordée au réseau de chaleur, mené par le EC BREC et financé par différents organismes européens, principalement danois et des investisseurs privés.

15. USA

15.1. Sources et contacts

Les principaux acteurs fédéraux en matière de biogaz sont l'EPA (via les deux principaux programmes LMOP sur le gaz de décharge, et AgStar sur la méthanisation des déjections d'élevage) et le DoE (Department of Energy).

Les acteurs privés sont principalement les exploitants de CSD : Waste Management et BFI (Browning-Ferris Industries) sont les deux principaux avec respectivement 28 et 19 réalisations (CSD) opérationnelles fin 1998.

Chaque Etat Fédéral gère également sa propre politique en la matière, notamment les programmes de soutien aux énergies renouvelables et des programmes thématiques sur certaines filières biogaz. Le développement de chaque filière est très différent d'un Etat à l'autre.

15.2. Contexte et cadre réglementaire

15.2.1. Les programmes

Les premières lois concernant le gaz de décharge datent du milieu des années 1970, avec le RCRA (Resource Conservation and Recovery Act, 1976) et la création de l'EPA. Elles sont renforcées avec le Clean Air Act (1991). En 1996, le CAA fait obligation aux CSD contenant plus de 2,5 millions de tonnes ou m³ de déchets, de collecter le biogaz en vue de réduire à la fois les émissions de COV et de gaz à effet de serre.

Les conditions d'achat d'électricité issue du biogaz étaient jusqu'à aujourd'hui fixées par le PURPA (Public Utility Regulatory Policies). Les projets recevaient des subventions financées par une taxe fédérale, jusqu'en 1998.

La valorisation du gaz de décharge a été développée grâce à un crédit de taxe pour les combustibles non conventionnels, qui s'est élevé à près de 12 \$/MWh pour le gaz de décharge. Le système a pris fin en 1998.

Avec la restructuration du secteur électrique, divers mécanismes ont été mis en place par les Etats de l'Union.

Les politiques de promotion des ENR passent en majorité par des **Renewable Portfolio Standards** (RPS) ou des **System Benefits Funds** (SBF), dénommés également System-Benefits Charge (SBC).

Le système des Portfolio consiste à rendre obligatoire un taux d'incorporation d'électricité renouvelable dans le « portfolio » (mix énergétique) des distributeurs d'électricité.

Tandis que le système du fond consiste à subventionner les projets à partir d'une taxe sur la consommation d'énergie auprès des consommateurs finaux.

Le « Energy Efficiency and Renewable Energy », l'un des bureaux du DoE, a commandité une étude (« Clean Energy funds : an overview of the State support for renewable energy ») (Bolinger M, Wiser R., Avril 2001) décrivant les politiques de type SBC mises en œuvre dans 14 des principaux Etats de l'Union. Les SBC peuvent bénéficier aux projets biomasse, à l'exclusion du Delaware (qui ne retient que le solaire), mais les conditions d'éligibilité varient selon les Etats. La plupart des états incluent explicitement le gaz de décharge, et plusieurs comptent également le biogaz de digesteurs. Certains Etats stipulent que les cultures énergétiques doivent être produites de façon « soutenable », ou que les projets éligibles doivent être des procédés « avancés » de conversion de biomasse à basses émissions.

Une étude récente commandée par le CONEG Policy Research Center Inc. /Northeast Regional Biomass Programm (« Securing a place for biomass in the Northeast United States : a review of renewable energy related policies », Mars 2003), détaille les principaux mécanismes (RPS et SBF) dans les états du Nord-Est.

15.2.2. Le Landfill Methane Outreach Programme (LMOP)

Le LMOP est conduit par l'EPA (Agence pour la Protection de l'Environnement). Il s'agit d'un programme volontaire dont le but est d'aider les développeurs, les compagnies d'énergie, les exploitants de centres d'enfouissement, les utilisateurs d'énergie. Le LMOP offre une assistance technique et divers outils, tels que des fiches de cas, des manuels, des analyses, des moyens de calcul, et des modes de financement.

Photo : unité de traitement du biogaz du CET de Sandy Hill (Maryland), qui alimente le centre de la NASA de Goddard Goddard Space Flight Center à Greenbelt. Source : [/www.gsfc.nasa.gov/topstory/2003/0508landfill.html](http://www.gsfc.nasa.gov/topstory/2003/0508landfill.html)



15.2.3. Le programme AgStar

Le programme AgStar est un programme de l'EPA (www.epa.gov/outreach/agstar/index.htm) destiné à promouvoir la méthanisation des déjections d'élevage. Il permet de subventionner les installations.

Les installations de digestion de déjections d'élevage peuvent également recevoir le soutien de fonds de développement ruraux ou agricoles, comme le Département rural du ministère de l'Agriculture (EQIP : Environmental Quality Incentive Programm qui fournit une assistance technique et financière aux agriculteurs).

Le Great Lakes Regional Biomass Energy Programm, piloté par le Conseil des Gouverneurs des Grands Lacs (qui réunit 7 Etats limitrophes des Grands Lacs) conduit un programme sur la méthanisation des déjections animales. Un document (Kramer J.M., « Agricultural Biogas Casebook », Mars 2002) dresse le bilan sur la vingtaine d'installations existantes ou en construction : 2 unités existaient avant 1998, date du lancement du programme méthanisation, et la moitié était prévue pour une mise en service en 2002.

Ce programme s'inspire largement des technologies développées en Allemagne. Il s'agit principalement d'exploitations bovines, entre 110 et 3.750 têtes (moyenne un peu inférieure à 1.000). S'y ajoutent 3 exploitations porcines et 1 élevage de canards.

15.2.4. Les politiques des Etats

Chaque Etat conduit sa propre politique en matière d'énergie et de déchets. En Californie, le CEC (California Energy Commission) avec la California Power Authority ont initié un programme doté de 2,4 Millions \$ pour 5 programmes de recherche sur la valorisation du biogaz de décharge, de déjections d'élevage, d'agroalimentaire et d'eaux usées. La CEC estime le potentiel biogaz à 240 MWe.

15.3. État des lieux

15.3.1. État du développement

Les sources statistiques portent principalement sur la production d'électricité à partir de gaz de décharge. Les autres productions (stations d'épuration, productions thermiques) sont peu renseignées.

□ Électricité ex-biogaz

Le **NREL (National Renewable Energy Laboratory)**, un laboratoire affilié au ministère de l'énergie (US DOE) et piloté par le Midwest Research Institute, gère le système d'information *Renewable Electric Plant Information System (REPIS)*. Le rapport technique d'août 2000 (<http://analysis.nrel.gov/repis/28674.pdf>) donne les statistiques des différentes filières énergie renouvelable de **production d'électricité**.

La biomasse fournit 4 % de l'électricité produite aux Etats-Unis (sur 778 GWe de capacité de production électrique aux Etats-Unis en 1997 et une production de près de 3.500 TWh), soit 7,5 GWe, avec plus de 350 installations.

Tableau 23 : Production d'électricité à partir d'énergie renouvelable, dont la biomasse, en TWh/an

TWh/an	RPS			Total EnR		
	Publique	Privé	Total	Publique	Privé	Total
Déchets municipaux et gaz de décharge	0,7	11,9	12,6	1	17,4	18,4
Bois et autres biomasses	0,9	38,4	39,3	0,9	38,4	39,3
Total ENR	7,1	63,7	70,8	7,4	69,3	76,7

Le potentiel de production, selon le ministère de l'Energie (DoE), est de 30 GWe et 150 à 200 TWh électriques à l'horizon 2020.

Le **biogaz** est valorisé sous forme d'électricité par **263 unités opérationnelles** (sur 357 unités recensées, y compris installations à l'arrêt ou en construction), dont une grande majorité de centres de stockage, totalisant 1.344 MW, dont **1.064 MW opérationnels fin 1999**.

Tableau 24 : Nombre et puissance installée des unités de valorisation du biogaz en électricité

Statut	Nombre	Puissance (MW)
En fonctionnement	263	1.064
Arrêté	29	68
En construction	53	196
Inconnu	7	4
Hors service	4	5
En stand by	1	7
TOTAL	357	1.344

La production d'électricité issue des déchets et du gaz de décharge a atteint 17 TWh en 1997 (y compris l'incinération des déchets, comptés à 61 % comme électricité renouvelable) dans le cadre des Renewable Portfolio Standards.

Les principaux Etats concernés sont la Californie, l'Illinois, le Michigan, l'état de New York et la Pennsylvanie.

Tableau 25 : Répartition géographique de la puissance installée

ETAT	Puissance en service (MW)	% de la capacité total USA
Californie	344	32
Illinois	113	11
Michigan	77	7
Etat de New-York	51	5
Pennsylvanie	41	4

Le développement a débuté au début des années 1980 et s'est poursuivi de façon linéaire à raison de 65 MW de capacité supplémentaire par an.

□ Gaz de décharge

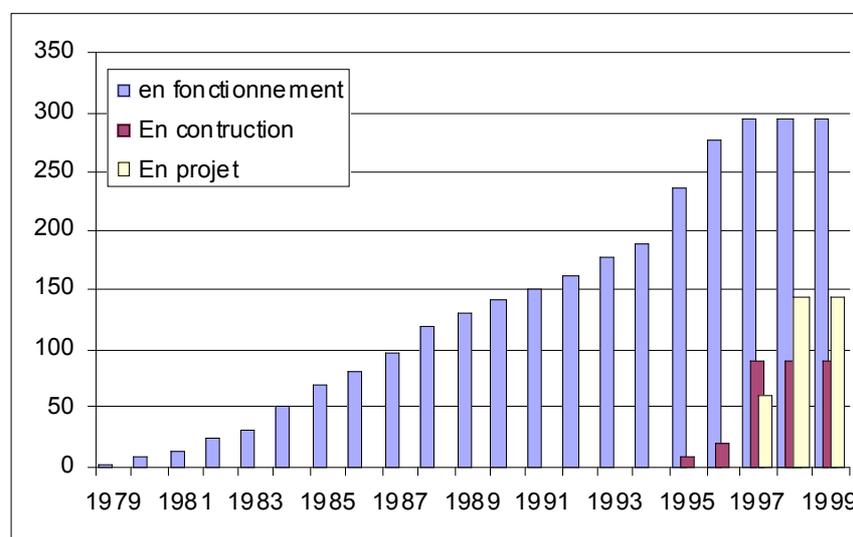
Des données concernant le **gaz de décharge** (LFGTE : Landfill gas To Energy) sont disponibles auprès de **SWANA** (Solid Waste Association of North America), sur www.forester.net/msw_0003_database.html : près de 300 unités étaient opérationnelles fin 1998, 230 étaient en construction ou en projet. Le taux de croissance de l'industrie LFGTE est de 10 % par an aux USA depuis 1990, selon SWANA. *Photo : centrale de SMART Station, ville de Sunnyvale, Californie.* Source : www.ci.sunnyvale.ca.us



Tableau 26 : Evolution du nombre de réalisations LFGTE aux USA (Source : Susan Thorneloe, Alex Roquetta, John Pacey, et C. Bottero, sur forester.net)

	En fonctionnement	En construction	En projet	Total
Moteur à gaz	147	55	46	248
Gaz moyen PCI	70	13	29	112
Turbine à vapeur	5		1	6
Turbine à gaz	35	4	1	30
Gaz haut PCI	7	9	8	24
Evaporation lixiviât	9	2	2	13
Cycle combiné	3		1	4
Autres électricités	14	7	10	36
Pile à combustible	2		1	3
Serre	1		2	3
Cogénération	1		1	2
Synthèse méthanol			1	1
<i>Inconnu</i>			41	46
Total	294	90	144	528

Figure 2 : Evolution du nombre de réalisations LFGTE aux USA (Source : Susan Thorneloe, Alex Roquetta, John Pacey, et C. Bottero, sur forester.net)



Ces données n'intègrent pas les sites qui autoconsomment l'électricité produite, ni surtout ceux qui valorisent le biogaz uniquement sous forme thermique.

□ Californie

La **California Energy** Commission indique pour sa part une capacité biogaz de 223 MW en Californie fin 1997 (www.energy.ca.gov, dernière mise à jour Mars 2002), dont 198 MW sur gaz de décharge et 25 MW sur gaz de digesteur, pour 46 installations (soit 4,8 MWe en moyenne par installation), avec une progression de + 16 MWe par an. Les sites les plus importants sont ceux de Puente Hills (CSD de Los Angeles, 51 MWe) et de Coyote Canyon Landfill (30 MWe), suivis de la STEP d'Orange County Sanitation Plant (16 MWe). 80 % des stations d'épuration urbaines en Californie seraient équipés d'une digestion anaérobie des boues.

Figure 3 : Evolution de la capacité installée en Californie en MWe (CSD + STEP urbaines)

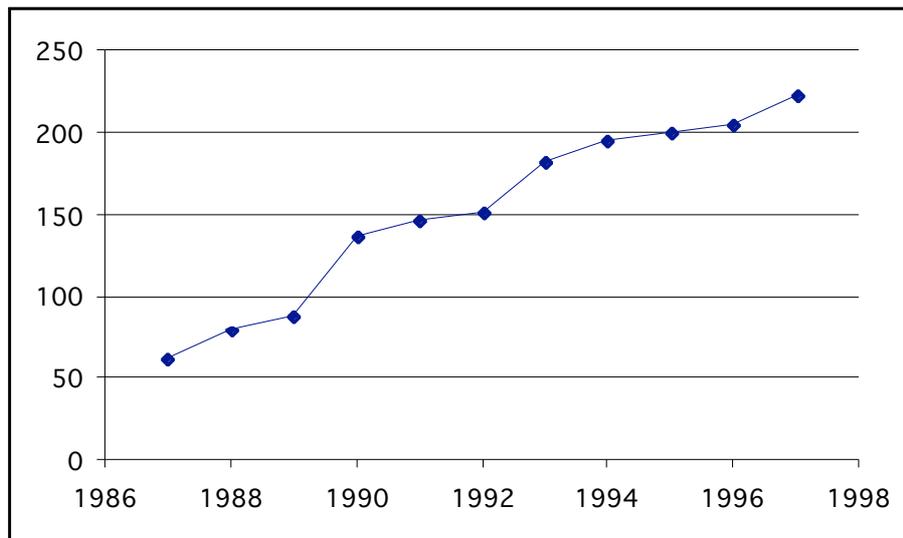


Tableau 27 : Liste des sites producteurs de biogaz en Californie

SITE	TYPE	Mise en service	Puissance (MWe)
Aliso Water Management Agency	Digesteur	1987	1,20
Chino Basin Municipal Water District	Digesteur	1997	0,58
City Of Palm Springs	Digesteur	1987	0,25
City Of Tulare	Digesteur	1996	0,41
Co. San. Dist. #32 Of La Co. (Valencia)	Digesteur	1991	0,50
Ebmud (Oakland)	Digesteur	1995	4,00
Monterey Regional Water Control	Digesteur	1992	1,74
Orange County Sanitation District Plant 1	Digesteur	1996	4,50
Orange County Sanitation District Plant 2	Digesteur	1997	11,20
Roy Sharp Jr.	Digesteur	1995	0,10
Royal Farms #1-#2	Digesteur	1987	0,18
Altamont Landfill	CSD	1993	6,00
Bkk Landfill #2 (#1 Retired)	CSD	1990	11,50
Corona Landfill	CSD	1990	5,20
County Of Sonoma	CSD	1997	6,00
Coyote Canyon Landfill	CSD	1993	20,00
Fresno WWTP	CSD	1988	1,30
Gas Recovery Systems (American Canyon)	CSD	1989	1,50
Gas Recovery Systems (Fremont)	CSD	1994	3,75
Gas Recovery Systems (Guadalupe)	CSD	1988	1,44
Gas Recovery Systems (Menlo Park)	CSD	1987	2,00
Gas Recovery Systems (Santa Cruz)	CSD	1992	0,93
Marina Landfill	CSD	1987	1,30
Mountain View Power Plant	CSD	1989	3,00
Newby Island I & II	CSD	1988	4,20
Nove Power Plant	CSD	1990	3,00
O'brien Energy Systems (Duarte)	CSD	1992	2,30
Olinda Power	CSD	1988	5,48
Otay Landfill #1-#2	CSD	1990	3,75
Oxnard Landfill	CSD	1988	5,63
Pacific Energy (Penrose Landfill)	CSD	1990	11,50
Pacific Energy (Salinas)	CSD	1990	1,50
Pacific Energy (Santa Clara)	CSD	1990	2,00
Pacific Energy (Stockton)	CSD	1989	0,80
Pacific Energy (Toyon Canyon Landfill)	CSD	1990	11,50
Palo Alto Landfill	CSD	1994	2,00
Palos Verdes Gas-To-Energy	CSD	1991	9,00
Pt. Loma Sewage Treatment Plant	CSD	1989	2,70
Puente Hills Energy Recovery A-B	CSD	1987	51,10
Rio Hondo Community College District	CSD (Cogen)	1992	0,45
San Marcos Landfill	CSD	1993	1,88
Spadra Landfill	CSD	1994	8,00
Sycamore Landfill	CSD	1993	1,89
Tajiguas Landfill	CSD	1904	3,00
Tulare County Landfill	CSD	1904	1,90
Yolo County Landfill	CSD	1993	0,50

16. Chine⁵

16.1. Sources et contacts

Outline for development of the New and Renewable Energy in China, from 1996 to 2010, Guangzhou Institute of Energy Conversion.

Biogas Development in China and the Potential Areas for International cooperation, Wang Xiwu, President of China Biogas Society, RENEXPO 2002.

Priority Projects for development of the New and Renewable Energy in China (www.opet.net.cn).

Prospect of biomass energy technology development in China (www.opet.net.cn).

Biogas technology and ecological environment development in rural areas of China, Wang Mengjie, Chinese Academy of Agriculture Engineering Research, 2002 (site internet du réseau Ecosan).

The Role of Renewable Energy Options in China's Present and Future Energy system, Gu Shuhua et Liu Wenqiang, Institute for Techno-economics and Energy System Analysis (ITEESA Pékin), 2000.

Site internet China Biogas Web www.biogas.com.cn.

16.2. Contexte et cadre réglementaire

D'ici 2020, la Chine va compter 1,5 milliard d'habitants. Entre 1980 et 2000, la consommation d'énergie primaire est passée de 400 à 1.000 Mtep et va atteindre 1.600 Mtep en 2020. 70 % de la production proviennent du charbon. En 2000, la production d'énergie nouvelle et renouvelable est d'environ 0,5 %, hors énergie hydraulique et bois de chauffage, soit 4 Mtep. En 2015, la consommation d'énergie sous forme d'électricité, chaleur et gaz issus de sources renouvelables (solaire, biomasse, éolien, géothermie) devrait atteindre 30 Mtep/an, soit plus de 2 % de la consommation totale d'énergie primaire, dont 3 Mtep provenant du biogaz.

Depuis 1998, la Loi de la Maîtrise de l'Energie définit les objectifs, les mesures et les politiques de développement des énergies nouvelles et renouvelables. Rédigé par la Commission au Plan, les Ministères des Sciences et Technologies et de l'Economie et du Commerce, ce document donne le planning de développement des énergies nouvelles et renouvelables de 2000 à 2015.

Celui-ci définit trois phases de développement :

2000-2005

Mise en place graduelle de politique incitative et de système de gestion administrative, acceptable vis-à-vis de l'économie de marché.

Mise en place d'un système de contrôle qualité, de surveillance et de service.

Soutien aux entreprises et aux produits.

Production d'énergie renouvelable, hors hydraulique et bois de chauffage, de 0,7 % de l'énergie primaire consommée, soit 9 Mtep/an.

⁵ Hors Hong-Kong. La Province de Hong-Kong compte 3 décharges de grande taille. En 2000, elles recevaient 6,6 millions de tonnes de déchets. La saturation des 3 décharges est prévue au mieux en 2015-2018, au pire en 2005-2008. Le biogaz est valorisé sur les 3 sites.

2006-2010

Mise en place d'un système de services et de soutien aux industries et d'une régulation du marché.
 Mise en place et application de la politique incitative et de la réglementation.
 Production d'énergie renouvelable, hors hydraulique et bois de chauffage, de 1,25 % de l'énergie primaire consommée, soit 17,5 Mtep/an.

2011-2015

Dissémination et commercialisation des technologies des énergies renouvelables.
 Amélioration du système de production des technologies des énergies renouvelables.
 Production d'énergie renouvelable, hors hydraulique et bois de chauffage, de 2 % de l'énergie primaire consommée, soit 30 Mtep/an.

16.3. Le biogaz

En Chine, la longue histoire du biogaz a conduit à l'élaboration d'installations de méthanisation de l'échelle du foyer à l'échelle industrielle sur tous les substrats organiques.

En effet, des années 50 aux années 70, le gouvernement chinois a largement aidé au développement des digesteurs familiaux comme technique de production d'énergie dans les zones rurales (allocation de main d'œuvre gratuite, etc.).

Des années 70 à 90, les technologies de méthanisation ont été développées et standardisées par des instituts de recherche spécialisés.

Depuis, les technologies de production de biogaz se sont étendues aux différents domaines et ont été réalisées à grande échelle avec pour objectif non seulement la production d'énergie locale mais aussi la protection de l'environnement.

16.3.1. Digesteurs familiaux

Au total, près de **7,6 millions de foyers** sont équipés de ce type de digesteurs, de 6 à 50 m³, recueillant les déchets organiques d'une famille : fèces, effluents animaux (porcs, volailles), restes de cuisine. Au total, **2,5 milliards de m³ de biogaz** sont produits chaque année. On estime un taux de fonctionnement de 65 % des digesteurs.

Ce type de méthanisation familiale permet :

la production d'énergie locale dans les zones rurales pour le chauffage, la cuisine et l'éclairage ;

- l'économie de 25-30 millions de tonnes de bois de chauffage par an (4 t/an et par digesteur) réduisant le phénomène de désertification (destruction de la forêt, érosion des sols, manque d'eau) d'une part et l'allègement du travail de femmes ;
- l'assainissement de l'environnement de la ferme : réduction des moustiques du fait du stockage fermé et réduction des germes pathogènes par la fermentation anaérobie ;
- la production d'engrais de ferme de bonne qualité.

Afin d'optimiser le système, deux modèles différents ont été développés : le modèle « porc-biogaz-fruit » au Sud et le modèle « 4-en-1 » au Nord.

Le modèle « porc-biogaz-fruit » : 2,2 millions de foyers équipés.

Ce système consiste à valoriser au maximum les sous-produits de la méthanisation, c'est-à-dire le biogaz et le digestat.

Tous les résidus organiques sont fermentés, le digestat est utilisé pour la fertilisation des cultures, le surnageant pour la nourriture des poissons (étang) et le biogaz est utilisé pour le chauffage, l'éclairage et la cuisine ainsi que pour le maintien des récoltes ou des vers à soie en température.

□ Le modèle « 4-en-1 » : 320.000 foyers équipés

Ce modèle combine l'enclos à porcs, les toilettes familiales, le digesteur et une serre. Largement développé dans les provinces du Nord, au climat continental à mousson, ce système permet de produire tout au long de l'année, du gaz pour le chauffage, la cuisine, l'éclairage et des fruits et légumes.

Les quatre constituants du système sont connectés permettant de récupérer l'énergie solaire pour la serre plus le CO₂ issu de la respiration des porcs. Le lisier et les fèces sont méthanisés et le digestat est utilisé comme fertilisant pour les cultures.

Actuellement, 320.000 foyers sont équipés de ce système.

Tableau 28 : Caractéristiques typiques des digesteurs familiaux (4 personnes)

Volume	8 m ³
Nombre de porcs	10
Production de biogaz	1,2 à 2 m ³ (n)/jour
Equivalent énergie	0,23 ha/an de forêt



16.3.2. Méthanisation moyenne à grande échelle

□ Digesteurs d'effluents agricoles et industriels

Ces installations de méthanisation collectives d'effluents agricoles (animaux domestiques et volailles) et d'effluents industriels (caves vinicoles, usines agroalimentaires) ont un volume de digestion supérieur à 50 m³. Près de 750 installations de ce type sont actuellement en service pour le traitement de 20 millions de tonnes de matières organiques par an (dont 14 Mt de déjections d'élevage et 6 Mt d'effluents d'IAA), alimentant 84.000 foyers en énergie.

□ Digesteurs d'eaux usées

Aujourd'hui en Chine, seuls 20 % des eaux usées urbaines sont traitées. L'objectif d'ici 2010 est d'équiper le pays afin de pouvoir traiter 50 % des eaux usées des zones urbaines et 75 % des eaux usées des villes principales.

La méthanisation des eaux usées est utilisée dans les petites villes ou en banlieues des grandes agglomérations où le système de captage n'est pas adéquat. Il s'agit en fait de fosse septique (réservoirs horizontaux souterrains). Il existe près de 80.000 (1999) digesteurs de ce type traitant 237 millions de m³ d'eaux usées par an.

□ Digesteurs de boues urbaines

470 stations d'épuration ont été dimensionnées par la North China Municipal Engineering Design and Research Institute, avec un traitement de boues par méthanisation (digesteurs egg-shaped). Ce système de traitement de boues a été largement disséminé dans le pays.

□ Gaz de décharge

La production de déchets urbains est d'environ 150 millions de tonnes par an, soit près de 1,5 milliard de m³ de gaz de décharge potentiellement disponible. Aujourd'hui seuls quelques sites de démonstration pilote de captage de biogaz sont en service.

16.3.3. Les acteurs du biogaz

Afin de développer une technologie reproductible et éviter les écueils de la réalisation de systèmes auto-construits souvent de qualité insuffisante, le ministère de l'Agriculture a créé un Institut de Recherche sur le biogaz, le BIOMA, en 1979. Dès 1981, le centre technique BRTC, Asia-Pacific Regional Research and Training Center, est créé. Ce centre (82 chercheurs et techniciens) regroupe les compétences de bureau d'étude, de recherche et développement, d'enseignement et formation, d'information et vulgarisation (Journal Trimestriel « China Biogas »), et de contrôle des installations.

16.4. État des lieux

Tableau 29 : Production de biogaz en Chine en 2000
(Sources : China Biogas Society 2002, ITEESA 1998, EVA 1996)

	Nombre d'installations	Tonnages déchets ou effluents (Mt)	Énergie produite (PJ/an)	Énergie produite (ktep/an)	Quantité biogaz (Mm ³)
Digesteurs industriels	700	20	13	300	545
Digesteurs familiaux	7,5 millions		41	1.500	2.500
Gaz de décharge	2				
Boues urbaines	470				
Eaux usées	80.000	240			
Gazéification	200				

Le potentiel de production de biogaz en Chine est très important et concerne :

- les unités de taille industrielle (méthanisation collective d'effluent d'élevage, déchets des industries agroalimentaires) ;
- les décharges dont la gestion actuelle ne permet pas le captage du gaz ;
- les digesteurs familiaux, aujourd'hui seuls 4 % des foyers agricoles sont équipés et 7 % des autres foyers ruraux.

En 2015, la production d'énergie à partir de biogaz devrait atteindre 3 Mtep/an, soit 130 PJ/an, dont une large proportion provenant de la méthanisation moyenne et grande échelle.

17. Inde

17.1. Contexte

L'Inde consomme 390 Mtep (source : IEA), dont un tiers d'énergies « non commerciales » : principalement du bois (75 Mtep), ainsi que des résidus de cultures et des déchets animaux. A l'horizon 2020, la consommation d'énergie primaire est estimée entre 640 et 930 Mtep selon les scénarios du gouvernement indien (ministère de l'Energie, Commission du Plan), dont 90 à 240 Mtep d'énergies « non commerciales ».

Tableau 30 : Bref historique des politiques énergies renouvelables en Inde

1981-82	La <i>Commission for Additional Sources of Energy</i> (CASE) lance le <i>National Project on Biogas Development</i> (NPBD)
1984-85	Lancement du programme national des foyer améliorés (Chulhas)
1987	Création de l'IREDA : <i>Indian Renewable Energy Development Agency</i>
1992	Création du Ministère des Sources d'Energies Non Conventionnelles (MNES)
1994	Approbation du Plan de développement des procédés de biométhanisation à haut rendement
1995	Lancement du <i>National Programme on energy recovery from urban, municipal and industrial wastes</i>

17.2. Le biogaz

17.2.1. État du développement

En 1980, près de 100.000 digesteurs sont en service en Inde. Le 6^{ème} plan quinquennal lance, en 1981, le National Project Biogas Development (NPBD), puis en 1982 un second programme de promotion des installations « institutionnelles », c'est-à-dire collectives ou industrielles, qui sera renouvelé en 1992.

Selon le MNES, fin 1998, il existe 2,8 millions de digesteurs familiaux et 2.360 unités communautaires, municipales et industrielles, avec une production de 2,8 millions de tonnes-équivalent bois.

En mars 2002, le nombre de digesteurs familiaux est estimé à 3,2 millions, et celui des digesteurs communautaires à 3.901 unités.

L'objectif fixé pour 2012 est de 3 millions de nouveaux digesteurs familiaux. Le potentiel est estimé à 12 millions de digesteurs familiaux.



Tableau 31 : Nombre de digesteurs familiaux par Etat (Décembre 2001)

État	Réalisé (milliers d'unités)	Potentiel (milliers d'unités)	% Réalisé / potentiel
Andhra Pradesh	316	1 066	30
Arunachal Pradesh	1	8	16
Assam	50	308	16
Bihar	120	940	13
Goa	3	8	41
Gujarat	348	554	63
Haryana	43	300	14
Himachal Pradesh	44	126	35
Jammu & Kashmir	2	129	2
Karnataka	324	680	48
Kerala	77	151	51
Madhya Pradesh	197	1 491	13
Maharashtra	667	897	74
Manipur	2	39	5
Meghalaya	2	24	8
Mizoram	3	3	91
Nagaland	1	7	22
Orissa	178	605	29
Punjab	66	412	16
Rajasthan	66	915	7
Sikkim	3	7	45
Tamilnadu	200	616	33
Tripura	2	29	5
Uttar Pradesh	363	2 021	18
West Bengal	196	695	28
A & N Islands	0	2	6
Chandigarh	0	1	7
Dadra & Nagar Haveli	0	2	8
Delhi	1	13	5
Pondicherry	1	4	13
Chattisgarh	0	-	-
Jharkhand	0	-	-
Uttaranchal	0	-	-
TOTAL	3 277	12 050	27

Tableau 32 : Nombre d'unités communautaires, institutionnelles et industrielles par Etat (Décembre 2001)

1	Andhra Pradesh	121
2	Assam	2
3	Bihar	38
4	Goa	21
5	Gujarat	164
6	Haryana	53
7	Himachal Pradesh	7
8	J&K	4
9	Jharkhand	2
10	Karnataka	55
11	Kerala	122
12	Madhya Pradesh	117
13	Maharashtra	457
14	Manipur	4
15	Meghalaya	4
16	Nagaland	7
17	Orissa	39
18	Punjab	634
19	Rajasthan	65
20	Tamil Nadu	228
21	Uttar Pradesh	1 311
22	Uttaranchal	31
23	West Bengal	64
24	Delhi	56
25	Pondicherry	1
	Total	3 607

Tableau 33 : Projets financés par l'IREDA : Indian Renewable Energy Development Agency

(Source : www.teriin.org)

Secteur industriel	Nombre de projets
Distillerie	54
Levures	1
Papier	1
Pharmacie	2
Divers (équipements tels que chaudières biogaz)	3
Production d'électricité	1
Total	62

Tableau 34 : Place de la méthanisation dans quelques secteurs industriels (Source : <http://www.teriin.org/renew/tech/biometh/present.htm>)

Industries	Usines existantes	Unités de méthanisation
Distilleries	254	145
Papeteries	347	5
Amidonneries	13	1

Le NPBD a fait l'objet de nombreux rapports d'évaluation, dont la plus récente⁶ montre que le taux de fonctionnalité (unités réellement en fonctionnement) est proche de 60 %, et propose de réaffecter une partie des aides actuelles à l'investissement vers des aides à la rénovation. Ce rapport réévalue également le potentiel : constatant que les unités en fonctionnement traitent en moyenne les déjections de plus de 5 têtes de bétail, le potentiel pour les digesteurs de type familial ne serait pas de 24 millions mais de 12 millions.



Tableau 35 : Caractéristiques typiques des digesteurs familiaux

Volume	2-3 m ³
Production de biogaz	2 m ³ (n)/jour
Productivité	27 m ³ / tonne
Utilisation du biogaz	1,25 m ³ (n)/j

Le biogaz est utilisé pour la cuisson (foyers adaptés) et l'éclairage, voire pour la production d'électricité. Les digesteurs à dôme fixe (maçonnés) sont devenus plus populaires que les premiers digesteurs à dôme flottant.

La production atteindrait donc 4,7 MWh par an par unité, dont 62 % valorisés. La production totale indienne serait de l'ordre de 10 TWh pour près de 2 millions d'unités en état de fonctionnement, et la production valorisée serait de l'ordre de 6 TWh, soit 500 ktep.

Parmi les arguments en faveur du programme biogaz, ceux qui sont mis en avant de manière récurrente sont les suivants :

- ❑ On estime qu'une unité familiale permet d'économiser 4 tonnes de bois par an (ireda.nic.in/gasplants.htm). La méthanisation est un moyen efficace de lutte contre la déforestation.
- ❑ Le programme biogaz aurait généré 6 millions d'hommes-jours de travail.
- ❑ La production de biogaz permet de fournir une énergie plus facile à employer que le bois : rendement de 60 % contre 10 à 15 %, absence de fumées.
- ❑ La méthanisation génère un substrat amélioré du point de vue de la fertilisation.

⁶ planningcommission.nic.in

17.2.2. Les acteurs

La politique « biogaz » est pilotée par le MNES (Ministry of Non-conventional Energy Sources), avec le soutien de son agence financière l'IREDA (Indian Renewable Energy Development Agency), ainsi que par des organismes publiques tels que le National Dairy Development Board, ou l'entreprise publique KVIC (Khadi and Village Industries Commission) qui a conçu le premier modèle de digesteur familial, dans les années 1970.

Ce sont les différents Etats et unités territoriales qui composent la fédération qui mettent en œuvre ces programmes (voir par exemple MEDA, agence de l'énergie du Maharashtra (www.mahaurja.com)).

Le TATA Research Institute, organisme de recherche financé par l'une des plus grandes entreprises indiennes, compte également parmi les principales organisations impliquées, de même que de nombreuses ONG indiennes, qui sont les principaux acteurs de terrain pour ce qui concerne les digesteurs familiaux.

17.3. Les programmes

17.3.1. Les digesteurs familiaux

Dans le cadre du NPBD, les pouvoirs publics offrent des **facilités de paiement** (via l'IREDA : prêt jusqu'à 75 % de l'investissement total, 2 ans de moratoire d'intérêts..., et via le NABARD : National Bank for Agriculture and Rural Development) et des **avantages fiscaux** (possibilité d'amortissement sur 1 an...) variés. Le MNES peut **subventionner** jusqu'à 50 % des investissements de production d'électricité, et 100 % des études de ressource.

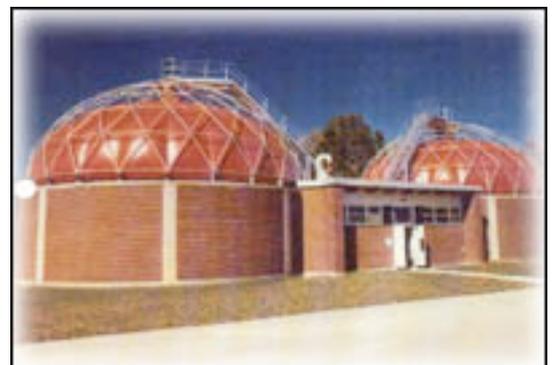
Le NPBD, outre les mécanismes financiers, comporte des programmes d'accompagnement : formation, promotion d'installations clé en main, de services de réparation et d'entretien, campagnes d'information au niveau des villages...

Malgré les nombreux problèmes d'ordre technico-économique ou d'acceptation sociale, les améliorations successives ont permis d'améliorer les performances et l'acceptation. Les subventions directes ont été réduites, et il est désormais envisagé de ne recourir qu'aux financements classiques du secteur agricole, sans aides publiques.

17.3.2. Les procédés industriels

Le « **Community, Institutional & Night Soil based Biogas Plants Programme** » (CBP / IBP/ NBP) est l'équivalent du NDBP pour les unités communautaires et institutionnelles. Lancé en **1983**, il a été reconfirmé en 1992.

Le programme sur le développement des **procédés performants de méthanisation** lancé en **1994**, est (« Development of High Rate Bio-methanation Processes as means of reducing Green-House Gases Emissions ») soutenu par les Nations Unies (GEF : Global Environment Facility) à hauteur 5,5 M\$. Le financement apporté par le MNES est de 5 M\$.



Le « **National programme on energy recovery** from urban, municipal, and industrial wastes » a été lancé par le MNES en **1995**, avec un budget de 40 Mroupies. Le programme fournit une assistance financière et des subventions dans le but de promouvoir et disséminer les technologies de production d'énergie à partir de déchets et d'améliorer la gestion des déchets.

Selon le Bureau d'Information de la presse du Gouvernement Indien, plusieurs unités de méthanisation sont en cours de réalisation, dans le cadre de ce programme (source : <http://pib.myiris.com/refer/article.php3?fl=B3723&sr=19>) :

- Unité de production d'électricité de 1 MW à partir de méthanisation d'eaux usées sur la distillerie de Sugar Mills (Faizabad, Uttar Pradesh).
- Unité de production d'électricité de 2 MW à partir de méthanisation d'eaux usées à Kanoria Chemicals and Industries, (Ankleshwar, Gujarat).
- Unité de production d'électricité de 2.7 MW à Som Distilleries Limited (Bhopal, Madhya Pradesh).
- Unité de production d'électricité de 1 MW à Ugar Sugar Works (Belgaum).
- Unité de méthanisation de 4 à 10.000 m³/j de biogaz sur déchets d'abattoirs à Al Kabeer Exports Limited (Medak), avec production de 500 kWe (voir : <http://www.hinduonnet.com>, 28 décembre 2001).
- Unité de méthanisation de liqueur noire à Satia Paper Mills (Muktsar, Punjab).

Dans le cadre du programme **Ganga Action Plan**, un programme indo-néerlandais a été lancé, destiné à promouvoir l'implantation des technologies UASB et participer à la dépollution du Gange (villes de Mirzapur et Kanpur). De 1987 à 1994, les Pays-Bas ont apporté 50 M de couronnes néerlandaises, et 3 usines ont été construites (capacité de 5 à 36 M litres/jour). Ces unités traitent les effluents urbains en direct, solution rendue possible par les conditions climatiques du pays.

Ce programme indo-néerlandais mérite un développement particulier étant donné son grand intérêt pour la dépollution des eaux usées urbaines. Les sources d'information sont iram.consult.com. Il a débuté avec une unité de 5 MLJ (millions de litres par jour) à Kanpur (Uttar Pradesh) en 1989, qui a démontré la faisabilité de la technologie UASB sur des eaux usées municipales. La DCO (560 mg/l) est abattue de 74 % dans deux réacteurs UASB de 1.200 m³ de capacité totale.

Dans le même Etat, une seconde unité de 14 MLJ a été construite à Mirzapur en 1991 (130.000 habitants). Le rendement épuratoire sur DCO est de 81 %. L'unité produit 36 kWe (sur un potentiel de production de 70) et n'en consomme que 20. L'investissement total est de 650.000 \$ et les coûts annuels d'exploitation de 4.000 \$.

Une troisième unité a été construite à nouveau à Kanpur (la première étant encore en fonctionnement en 1996). En 1994, elle traite 36 MLJ dont 25 % d'effluents de tanneries. La DCO est bien supérieure (1 à 2 g/l) et le taux d'abattement est de 55 à 60 %. L'investissement s'est élevé à 4 M\$, et les coûts d'exploitation à 0,6 M\$/an.

Ces projets ont été réalisés par la société d'ingénierie indienne IRAM avec le support technique néerlandais Haskoning Consulting Engineers.

17.3.3. Les projets

En 1996, 13 unités de méthanisation totalisant 306 millions de litre par jour étaient en construction en Inde (rapport de W.K. Journey, ACD/VOCA, pour l'USAID, Novembre 1996), dont la rénovation de la station d'épuration urbaine de Madras.

Plusieurs tentatives de réaliser des unités de méthanisation de déchets solides municipaux ont été menées, pour le moment sans succès, ces dernières années : par exemple à Bhandewadi (Nagpur), 740 t/jour, lancé en 1997 avec le procédé DRANCO et abandonné en 2001 (source : <http://www.indiaurbaninfo.com>) ; Lak Nou, 100.000 t/an, procédé ENTEC.

Tableau 36 : Etat des lieux estimatif en 2002

	Nombre	Energie produite (PJ/an)
Digesteurs industriels		25
Digesteurs familiaux	3,2 millions	22
Digesteurs communautaires	3.900	< 1
Déchets municipaux	Pilotes	0
Eaux usées	13	ND

17.3.4. Les déjections d'élevage

L'Inde possède le plus important cheptel du monde, avec 260 millions de bovins. Sur les 75 millions d'exploitations familiales, 43 % possèdent plus de 4 têtes, ce qui constitue le seuil de rentabilité des digesteurs familiaux.

Au début de l'année 2000, le gouvernement indien a initié le **National Master Plan (NMP) for development of Waste-to-Energy** in India en confiant une étude au cabinet Montgomery Watson (UK) (source : <http://www.indiawteplan.com/html/status.asp>). L'objectif du NMP est de développer des technologies de traitement ou stabilisation de déchets municipaux ou industriels par méthanisation, auprès de 300 grandes villes indiennes. En 2001, 25 projets de ce type seraient en cours de réalisation.

17.3.5. Les déchets municipaux

Les premiers résultats de l'étude donnent un **potentiel de production de biogaz pour 300 villes** (l'étude fournit les données en m³ de biogaz par jour ; elles sont converties en ktep/an en supposant une teneur en méthane de 60 %).

Tableau 37 : Potentiel de production de biogaz à partir de déchets municipaux et des eaux usées, en ktep
(Source : <http://www.indiawteplan.com/html/statuts.asp>)

	Déchets solides	Déchets liquides
1991	98	22
2000	196	46
2005	255	63
2010	352	90
2015	513	130

NOTE : Le tableau original est vraisemblablement exprimé en milliers de m³ par jour et non en m³/jour.

17.3.6. Les déchets industriels

Les principaux **secteurs industriels** ont également été recensés (manquent les industries pharmaceutiques, du cuir, les abattoirs et les élevages).

Tableau 38 : Potentiel de production de biogaz pour les distilleries (267 unités) (Source : <http://www.indiawteplan.com/hm/statuts.asp>)

Année	Déchets liquides		Déchets solides	
	Quantité (t/j)	Puissance (MW)	Quantité (t/j)	Puissance (MW)
1999	140	348	-	-
2002	161	401	-	-
2007	201	501	-	-
2012	252	626	-	-
2017	315	783	-	-

Tableau 39 : Potentiel de production de biogaz pour les papeteries (45 unités) (Source : <http://www.indiawteplan.com/hm/statuts.asp>)

Année	Déchets liquides		Déchets solides	
	Quantité (t/j)	Puissance (MW)	Quantité (t/j)	Puissance (MW)
2000	86	40	-	-
2002	94	44	-	-
2007	118	55	-	-
2012	147	69	-	-
2017	184	86	-	-

Tableau 40 : Potentiel de production de biogaz pour les sucreries (431 unités)
(Source : <http://www.indiawteplan.com/hm/statuts.asp>)

Année	Déchets liquides		Déchets solides	
	Quantité (t/j)	Puissance (MW)	Quantité (t/j)	Puissance (MW)
2000	430	43	43 765	221
2002	473	47	48 142	243
2007	591	59	59 083	303
2012	739	74	70 024	379
2017	923	92	80 966	474

Tableau 41 : Potentiel de production de biogaz pour les amidonneries de maïs (11 unités)

(Source : <http://www.indiawteplan.com/htm/statuts.asp>)

Année	Déchets liquides		Déchets solides	
	Quantité (t/j)	Puissance (MW)	Quantité (t/j)	Puissance (MW)
1999	12	7	362	25
2002	14	8	416	28
2007	17	10	520	35
2012	22	13	651	44
2017	27	16	813	55

Tableau 42 : Potentiel de production de biogaz pour les laiteries (342 unités)

(Source : <http://www.indiawteplan.com/htm/statuts.asp>)

Année	Déchets liquides		Déchets solides	
	Quantité (t/j)	Puissance (MW)	Quantité (t/j)	Puissance (MW)
1997	112	22	-	-
2002	140	27	-	-
2007	175	34	-	-
2012	219	43	-	-
2017	274	53	-	-

La source (<http://www.indiawteplan.com/htm/status.asp>) dispose d'une base de données où sont indiquées les principales données de toutes les villes et établissements industriels enquêtés.

Potentiels et facteurs d'émergence de la récupération du biogaz et des gaz fatals

Rapport Phases 2 et 3

N° 02 - 415/1A

SOMMAIRE

1.	OBJECTIF ET MÉTHODE	11
1.1.	Objectif et classification	11
1.2.	Méthodologie	12
1.2.1.	France	12
1.2.2.	USA et Europe	12
1.2.3.	Chine et Inde	13
1.3.	Sources d'information	14
2.	FRANCE : MATIÈRES PREMIÈRES VÉGÉTALES	15
2.1.	Les surfaces agricoles	15
2.1.1.	Prairies et cultures fourragères	15
2.1.2.	Cultures non fourragères	15
2.2.	Les espaces boisés	18
2.2.1.	Méthodologie	18
2.2.2.	Résultats	18
2.3.	Bilan	19
3.	FRANCE : ÉLEVAGES	20
3.1.	Déjections : fumier et lisier	20
3.1.1.	Méthodologie	20
3.1.2.	Les résultats	22
4.	FRANCE : LES ENTREPRISES DE TRANSFORMATION	23
4.1.	Déchets et sous-produits organiques issus des procédés industriels	23
4.1.1.	Méthodologie	23
4.1.2.	Production d'effluents industriels	25
4.1.3.	Production de matière organique solide	31
4.1.4.	Conclusion et ratios indicateurs	37
4.2.	Les autres déchets industriels banals	38
4.3.	Les déchets de bois du bâtiment et des encombrants ménagers	40
5.	FRANCE : LES USAGERS FINAUX	41
5.1.	Alimentation	41
5.2.	Déchets solides	42
5.2.1.	Sources	42
5.2.2.	Définitions et caractérisation	42
5.2.3.	Production	44
5.3.	Les effluents urbains	47
6.	FRANCE : BILAN GÉNÉRAL DE LA BIOMASSE	48
6.1.	Flux de la matière organique issue des sols cultivables et des forêts en France	48
6.2.	Bilan et répartition des gisements	49
6.3.	Bilan des valorisations énergétiques existantes	56

7.	<u>GISEMENTS DE LA BIOMASSE EN EUROPE, USA, CHINE ET INDE</u>	59
7.1.	Europe	59
7.1.1.	Gisement de la biomasse issue de l'agriculture : productions végétales	60
7.1.2.	Gisement de la biomasse issue de l'agriculture : productions animales	62
7.1.3.	Gisement de la biomasse issue de la forêt	63
7.1.4.	Gisement de la biomasse issue de l'industrie	64
7.1.5.	Gisement de la biomasse issue des ménages et des entreprises	67
7.1.6.	Bilan des valorisations énergétiques existantes	70
7.2.	États-Unis	72
7.2.1.	Gisement de la biomasse issue de l'agriculture : productions végétales	72
7.2.2.	Gisement de la biomasse issue de l'agriculture : productions animales	74
7.2.3.	Gisement de la biomasse issue de la forêt	75
7.2.4.	Gisement de la biomasse issue de l'industrie	77
7.2.5.	Gisement de la biomasse issue des ménages et des entreprises	79
7.2.6.	Bilan des valorisations énergétiques existantes	81
7.3.	Chine	83
7.3.1.	Gisement de la biomasse issue de l'agriculture : productions végétales	83
7.3.2.	Gisement de la biomasse issue de l'agriculture : productions animales	85
7.3.3.	Gisement de la biomasse issue de la forêt	86
7.3.4.	Gisement de la biomasse issue de l'industrie	88
7.3.5.	Gisement de la biomasse issue des ménages et des entreprises	88
7.3.6.	Bilan des valorisations énergétiques existantes	91
7.4.	Inde	93
7.4.1.	Gisement de la biomasse issue de l'agriculture : productions végétales	93
7.4.2.	Gisement de la biomasse issue de l'agriculture : productions animales	95
7.4.3.	Gisement de la biomasse issue de la forêt	96
7.4.4.	Gisement de la biomasse issue de l'industrie	98
7.4.5.	Gisement de la biomasse issue des ménages et des entreprises	98
7.4.6.	Bilan des valorisations énergétiques existantes	100
8.	<u>ÉMISSIONS DES GAZ FATAIS (COVNM)</u>	102
8.1.	En France	102
8.1.1.	Les émissions	102
8.1.2.	Les enjeux	104
8.1.3.	Diagrammes des productions et émissions de méthane	105
8.1.4.	Récapitulatif	106
8.2.	En Europe, USA, Chine et Inde	109
8.2.1.	Les émissions	109
8.2.2.	Les enjeux	109
8.3.	Enjeux énergétiques des gaz fatals	110
8.3.1.	Méthane	110
8.3.2.	COVNM	110
8.3.3.	Gaz fatals totaux	111
9.	<u>DÉTERMINATION DU GISEMENT ÉNERGÉTIQUE ACCESSIBLE</u>	112
9.1.	Détermination du gisement maximum accessible	112
9.2.	Détermination du gisement énergétique	112
9.2.1.	Conversion matière organique <-> énergie	112
9.2.2.	Ratios de production d'énergie	115
9.2.3.	Hypothèses retenues pour la production d'énergie	116
9.3.	Données par région sur la consommation d'énergie et les émissions de gaz carbonique	118
9.3.1.	Bilans énergétiques par région	118
9.3.2.	Ratios d'émissions de CO2 par type d'énergie et par région	120
9.3.3.	Energie substituable et potentiel de réduction des émissions de gaz carbonique	122

10.	<u>ANNEXE 1 : CARACTÉRISATION DES PRODUITS</u>	124
11.	<u>ANNEXE 2 : MÉTHODOLOGIE POUR LA CARACTÉRISATION DE LA CHAÎNE DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES</u>	128
12.	<u>ANNEXE 3 : GLOSSAIRE</u>	129
13.	<u>ANNEXE 4 : RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u>	130

FIGURES

Figure 1 : Prairies et cultures fourragères (Sources : SCEES 1999, [4]).....	15
Figure 2 : Flux des lisiers et fumiers en France en Mt MO / an	22
Figure 3 : Répartition sectorielle de la matière organique disponible dans les effluents industriels et quantités d'effluents traités par méthanisation en 2000	31
Figure 4 : Répartition des filières de valorisation, en matière organique.....	36
Figure 5: Flux de matières organiques en France.....	48
Figure 6 : Productions et émissions de méthane en kt/an.....	106
Figure 7: Émissions de COVNM issues des solvants.....	108
Figure 8 : Répartitions des émissions de méthane en France, en Europe, aux USA et en Chine (Sources : Issus de [18], [19], [22]).....	109
Figure 9 : Pouvoirs calorifiques inférieurs, en GJ/t MO.....	113
Figure 10 : Pouvoirs calorifiques inférieurs, en GJ/t brute	114

TABLEAUX

Tableau 1 : 15 Pays de l'Union Européenne.....	13
Tableau 2 : Récapitulatif des sources d'informations françaises pour les différentes filières	14
Tableau 3 : Production et destination des cultures non fourragères en MtMO (Source : Agreste 2002, [10]).....	15
Tableau 4 : Flux de céréales en France en 2000 (Source : Agreste 2002, [10]).....	16
Tableau 5 : Flux des oléoprotéagineux (Source : Agreste 2002, [10])	16
Tableau 6 : Les productions et les livraisons IAA en 2000 en MtMO (Source : Agreste 2002, [10]).	16
Tableau 7 : Les résidus de cultures mobilisables en tMS/ha/an (Source : SCEES 1999 [14]).....	17
Tableau 8 : Résidus de cultures mobilisables en MtMO/an	17
Tableau 9 : Production forestière (Source : Statistiques forestières 2000, [6])	18
Tableau 10 : Répartition des flux en MtMO.....	19
Tableau 11 : Répartition des déjections (fumier et lisier) en fonction des troupeaux.....	20
(Source : Étude Biomasse Normandie [11]).....	20
Tableau 12 : Temps de pâturage en % des différents troupeaux (Source : Agreste 2002, [10])	21
Tableau 13 : La composition des lisiers et des fumiers en MS et MO/MS (Source : Agreste 2002, [10]).....	21
Tableau 14 : Flux de matières organiques (fumier, lisier, parcelles) du cheptel français en 1999 (Source : Issus de [11] et du SCEES 1999 [4])	22
Tableau 15 : Rendement épuratoire sur la MO pour les effluents industriels.....	24
(Sources : Données Agences de bassin [33] à [37]).....	24
Tableau 16 : Rapport DCO/DBO5 par type d'effluents (moyenne)	24
Tableau 17 : Evolution des productions annuelles par secteur (Source : Issus de Agreste 2002 [10])	25
Tableau 18 : Quantités de matière organique brute, retirée et rejetée par les industries en 2000 en kt MO/an (Source : Agences de bassin [33] à [37])	26
Tableau 19 : Quantités de matière organique brute, retirée et rejetée par les industries en 1989, en kt MO/an (Source : Ministère del'Industrie [32]).....	27
Tableau 20 : Recoupement des données Agences de bassin [33] à [37] et ADEME [28] pour les Papeteries	28

Tableau 21 : Recouplement des données Agences de bassin [33] à [37] et ADEME [28] pour l'industrie Textile.....	28
Tableau 22 : Recouplement des données Agences de bassin [33] à [37] et ADEME [28] pour l'industrie des Cuirs et Peaux	29
Tableau 23 : Recouplement des données Agences de bassin [33] à [37] et ADEME [28] pour l'industrie Chimique	29
Tableau 24 : Gisement théorique brut de la matière organique produite par les effluents industriels, par secteur, en Mt MO/an.....	30
Tableau 25 : Gisement théorique brut de la matière organique produite par les effluents industriels, par grandes filières, en Mt MO/an.....	30
Tableau 26 : Sources des données sur la production de matières organiques solides,.....	32
déchets et sous-produits, des industries.....	32
Tableau 27 : Comparaison du bilan de production en flux annuels aux quantités de déchets estimées (Source : Issus de ADEME 94 [28] et Agreste 2002 [10])	33
Tableau 28 : Quantités brutes de sous-produits et déchets des industries, en Mt brutes/an (Source : Issus de ADEME 94 [28] et Agreste 2002 [10]).....	34
Tableau 29 : Quantités de matière organique issue des sous-produits et déchets des industries, en Mt MO/an et pourcentage de valorisation (Source : Issus de ADEME 94 [28] et Agreste 2002 [10])	35
Tableau 30 : Répartition des filières de valorisation des sous-produits et déchets (Source : Issus de ADEME 94 [28] et Agreste 2002 [10]).....	36
Tableau 31 : Indicateurs et ratio de production brute par secteur industriel	37
(Source : Issus de Graph Agri 2002, [10])	37
Tableau 32 : Gisement annuel de DIB, en Mt de matières brutes (Source : Ademe 2003, [27]).....	38
Tableau 33 : Gisement annuel de DIB, en Mt de matières organiques (Source : Issus de Fricke 2002, [55]) et Ademe 2003, [27]).....	39
Tableau 34 : Quantité de bois contenue dans les encombrants ménagers et déchets du bâtiment (Source : Issu Ademe site internet : www.ademe.fr	40
Tableau 35 : Caractérisation de l'alimentation des français (Source : Issus de Graph Agri 2002, [10])	41
Tableau 36 : Caractérisation des déchets ménagers et assimilés en fonction de la zone de production (Source : Issus de données Ademe, [52] et [53]).....	43
Tableau 37 : Gisement brut de déchets ménagers et assimilés (Source : Issus de Ademe 2003, [52])	44
Tableau 38 : Gisement de matière organique contenue dans les déchets ménagers et assimilés (Source : Issus de Ademe 2003 [52] et Fricke [53]).....	45
Tableau 39 : Quantité de déchets recyclés en Mt MO/an (Source : Issus de Ademe 2003 [52])	46
Tableau 40 : Caractéristiques des effluents urbains	47
(Source : Issus de Ademe [52] et Degremont [61]).....	47
Tableau 41 : Chaîne de traitement des eaux usées en France	47
Tableau 42 : MODULE PRODUCTIVITÉ PRIMAIRE NETTE (PPN).....	50
Tableau 43 : MODULE ELEVAGE.....	50
Tableau 44 : MODULE : TRANSFORMATION CULTURES.....	51
Tableau 45 : MODULE : IAA produits carnés.....	51
Tableau 46 : MODULE : IAA produits laitiers	52
Tableau 47 : MODULE : IAA autres produits animaux	52
Tableau 48 : MODULE : IAA produits végétaux.....	52

Tableau 49 : MODULE : Distribution produits alimentaires	53
Tableau 50 : MODULE EXPLOITATION FORESTIERE	53
Tableau 51 : MODULE SCIERIE	53
Tableau 52: MODULE - FILIÈRE PAPIER (USINE À PATE ET PRODUITS FINIS)	54
Tableau 53 : MODULE PANNEAUX DE PARTICULES	54
Tableau 54 : MODULE TRANCHAGE DEROULAGE.....	54
Tableau 55 : MODULE CONSTRUCTION, MEUBLES, EMBALLAGE.....	54
Tableau 56 : MODULE : ENTREPRISES.....	55
Tableau 57 : MODULE MENAGES.....	55
Tableau 58 : Type de valorisation des déchets et de la biomasse en France	56
Tableau 59 : Production de biomasse, déchets et sous-produits en France en Mt MO/an	57
Tableau 60 : 15 Pays de l'Union Européenne.....	59
Tableau 61 : Caractérisation de la surface agricole européenne (Source : FAO 200, [16])	60
Tableau 62 : Caractérisation de la production végétale récoltée européenne (Source : FAO 2000, [16]).....	60
Tableau 63 : Pourcentages utilisés pour le gisement de résidus récoltables en Europe.....	61
(Source : SCEES 1999, [4])	61
Tableau 64 : Gisement de la biomasse issus des résidues de récoltes européennes	61
Tableau 65 : Caractérisation du cheptel européen (animaux présents) (Source : FAO 2000, [16]).	62
Tableau 66 : Ratios production et disponibilité du lisier (Source : SCEES 1999, [4]).....	62
Tableau 67 : Gisement de déjections produites et récupérables en Europe	63
(Source : Issus de FAO 2000, [16] et SCESS [4])	63
Tableau 68 : Caractérisation de la forêt et de l'industrie du bois en Europe Europe	63
(Source : FAO 2000, [15]).....	63
Tableau 69 : Gisement de la biomasse issus des forêts européennes.....	64
(Sources : Issus des données FAO [15]).....	64
Tableau 70 : Production de matières premières de l'agroalimentaire, de l'industrie papetière et de la chimie pour l'UE des 15 (Sources : Graph Agri Europe 1999 [3]).....	65
Tableau 71 : Gisement de matière organique issues des déchets solides et effluents industriels....	66
Tableau 72 : Gisement de matière organique issue des déchets solides et effluents industriels par grandes filières.....	66
Tableau 73 : Production et composition des déchets pour les pays de l'Union Europe.....	67
(Source : Issus de Eurostat 2000 [47]).....	67
Tableau 74 : Caractérisation des déchets produits par filière industrielle Europe	68
(Source : Issu de Ademe 2003, [27]).....	68
Tableau 75 : Gisement de DIB par type d'industrie dans les pays de l'Union et ratios de production Europe (Source : Issus de Eurostat, [47] et Ademe 2003 [27]).....	68
Tableau 76 : Chaîne de traitement des eaux usées en Europe Europe	69
(Source : Issu de Eurostat, [49] et IFEN 1999 [48]).....	69
Tableau 77 : Gisement de matière organique issue des déchets ménagers et assimilés en Europe (Source : Issus de Eurostat, [47], Ademe 2003 [27] et Fricke [55]).....	69
Tableau 78 : Gisement de matière organique issue des DIB, les gisements de papiers-cartons de la filière papetière et le bois de l'industrie du bois sont comptés par ailleurs (Source : Issus de Eurostat, [47]).....	70

Tableau 79 : Type de valorisation des déchets et de la biomasse en Europe (Source : Issus des statistiques IEA [66] et SOLAGRO (Étude 1 ^{ère} partie) [66])	70
Tableau 80 : Production de biomasse, déchets et sous-produits en Europe (UE 15), en Mt MO/an 71	
Tableau 81 : Caractérisation de la surface agricole des Etats-Unis (Sources : FAO 2000, [16])	72
Tableau 82 : Caractérisation de la production végétale récoltée des Etats-Unis	72
(Sources : FAO 2000, [16])	72
Tableau 83 : Pourcentages utilisés pour le gisement de résidus récoltables aux Etats-Unis.....	73
(Sources : SCEES 1999, [4]).....	73
Tableau 84 : Gisement de la biomasse issus des résidues de récoltes aux Etats-Unis.....	73
Tableau 85 : Caractérisation du cheptel des Etats-Unis (animaux présents)	74
(Sources : FAO 2000, [16])	74
Tableau 86 : Ratios production et disponibilité du lisier (Sources : SCEES 1999, [4])	74
Tableau 87 : Gisement de déjections produites et récupérables aux Etats-Unis	75
(Sources : Issus de FAO, [16] et SCEES 1999 [16]).....	75
Tableau 88 : Caractérisation de la forêt et de l'industrie du bois aux USA	75
(Sources : FAO 2000, [15])	75
Tableau 89 : Gisement de la biomasse issus de la forêt américaine (Sources : FAO 2000, [15]).....	76
Tableau 90 : Production de matières premières de l'agroalimentaire, de l'industrie papetière et de la chimie pour les Etats-Unis (Sources : Issus de OFIVAL [40], FAO [41], Finish Report [39], USDOE [42]).....	77
Tableau 91 : Gisement de matière organique issue des déchets solides et effluents industriels	78
Tableau 92 : Gisement de matière organique issue des déchets solides et effluents industriels par grandes filières.....	78
Tableau 93 : Caractéristiques de la poubelle des ménages américains (Sources : EPA 2003 [59]).	79
Tableau 94 : Chaîne de traitement des eaux usées aux Etats-Unis (Sources : Issus de EPA [60]).	80
Tableau 95 : Gisement de matière organique issue des déchets ménagers américains (Sources : Issus de EPA 2003 [58] et Fricke [55]).....	80
Tableau 96 : Type de valorisation des déchets et de la biomasse aux USA	81
(Sources : Issus de Statistiques IEA [66] et SOLAGRO [Étude 1 ^{ère} partie]).....	81
Tableau 97 : Production de biomasse, déchets et sous-produits aux USA, en Mt MO/an	82
Tableau 98 : Caractérisation de la surface agricole de la Chine (Sources : FAO 2000 [16]).....	83
Tableau 99 : Caractérisation de la production végétale récoltée de la Chine (Sources : FAO 2000 [16]).....	83
Tableau 100 : Pourcentages utilisés pour le gisement de résidus récoltables en Chine (Sources : Issus de FAO [16] et OPET [1]).....	84
Tableau 101 : Gisement de la biomasse issus des résidues de récoltes en Chine.....	84
Tableau 102 : Caractérisation du cheptel chinois (animaux présents) (Sources : FAO 2000 [16]) ...	85
Tableau 103 : Ratios production et disponibilité du lisier en Chine.....	86
(Sources : Issus de OPET [1] et FAO [2]).....	86
Tableau 104 : Gisement de déjections produites et récupérables en Chine.....	86
Tableau 105 : Caractérisation de la forêt et de l'industrie du bois en Chine (Sources : Issus de FAO [15]).....	87
Tableau 106 : Gisement de la biomasse issus de la forêt chinoise (Sources : Issus des données FAO [15]).....	87

Tableau 107 : Gisement de matière organique issu des effluents industriels	88
(Source : Article de Wang Ping 2001 [23]).....	88
Tableau 108 : Caractéristiques de la poubelle des ménages chinois.....	89
(Sources : Issus de “Solide Waste management in China”, JP Henderson 1995 [45]).....	89
Tableau 109 : Chaîne de traitement des eaux usées en Chine (Sources : Issus de Technical guideline of wastewater treatment, www.acca21.org.cn) [44] et WuWen Biomass 1982 [43]).....	90
Tableau 110 : Gisement de matière organique issu des déchets des ménages chinois.....	90
Tableau 111 : Production et destination des résidus de culture et consommation de bois de feu (Sources : Issus de OPET [1]).....	91
Tableau 112: Type de valorisation des déchets et de la biomasse en Chine.....	91
(Sources : OPET [1] et SOLAGRO - 1 ^{ère} partie de l'étude)	91
Tableau 113 : Production de biomasse, déchets et sous-produits en Chine, en Mt MO/an.....	92
Tableau 114 : Caractérisation de la surface agricole de l'Inde (Sources : FAO 2000 [16] et [14]) ..	93
Tableau 115 : Caractérisation de la production végétale récoltée en Inde (Sources : FAO 2000 [16] et [14]).....	93
Tableau 116 : Pourcentages utilisés pour le gisement de résidus récoltables en Inde.....	94
(Sources : Issus de FAO 2000 [16] et [14])	94
Tableau 117 : Gisement de la biomasse issus des résidues de récoltes en Inde.....	94
Tableau 118 : Caractérisation du cheptel indien (animaux présents) (Sources : Issus de FAO 2000 [16] et [14]).....	95
Tableau 119 : Ratios production et disponibilité du lisier en Inde (Sources : Issus de FAO [14] et [16]).....	95
Tableau 120 : Gisement de déjections produites et récupérables en Inde.....	96
Tableau 121 : Caractérisation de la forêt et de l'industrie du bois en Inde (Sources : Issus de FAO [15]).....	97
Tableau 122 : Gisement de la biomasse issus de la forêt indienne.....	97
Tableau 123 : Gisement de matière organique issue des déchets et effluents industriels.....	98
(Sources : Issus de www.indiawteplan.com , [38]).....	98
Tableau 124 : Caractérisation des déchets ménagers en Inde.....	99
(Sources : Ministère indien des statistiques issus de www.mospi.nic.in , [57]).....	99
Tableau 125 : Chaîne de traitement des eaux usées en Inde.....	99
(Sources : Issus des statistiques UNICEF, 2001, [56]).....	99
Tableau 126 : Gisement de matière organique issue des déchets ménagers produits dans les villes indiennes.....	100
Tableau 127: Production et destination des résidus de culture et consommation de bois de feu (Sources : données FAO 1989 [58]).....	100
Tableau 128 : Type de valorisation des déchets et de la biomasse en Inde.....	100
Tableau 129 : Production de biomasse, déchets et sous-produits en Inde, en Mt MO/an.....	101
Tableau 130 : Emissions en kt de CH ₄ et COVNM en 2001 (Sources : CITEPA 2003, [20])	102
Tableau 131 : Emissions détaillées de CH ₄ et COVNM en 2001 (Sources : CITEPA 2003, [20]) ...	103
Tableau 132 : Enjeux de récupération du CH ₄ et des COVNM en 2001.....	104
Tableau 133 : Production et émissions de méthane en kt/an	105
Tableau 134 : Production de méthane des CET contrôlés en 2001.....	107

Tableau 135 : Production de méthane des CET contrôlés en 2007, réduction de 25 % des émissions.....	107
Tableau 136 : Production de méthane des CET contrôlés en 2007, réduction de 50 % des émissions.....	108
Tableau 137 : Emissions de COVNM et méthane en Europe, aux USA, en Chine et en Inde (Sources : Inventaires nationaux des émissions de gaz à effet de serre, [18], [19], [22]).....	109
Tableau 138 : Enjeux de récupération des gaz fatals en Europe, aux USA, en Chine et en Inde en 2001 (Sources : Issus de [18], [19], [22])	110
kt /an	110
Tableau 139 : Spéciation des COVNM par seteur (Sources : Issus du CITEPA, [21])	110
Tableau 140 : Enjeux énergétiques de la récupération des gaz fatals en ktep en France, Europe, USA, Chine et Inde.....	111
Tableau 141 : Ratios de production d'énergie des déchets.....	115
Tableau 142 : Gisements énergétiques accessibles, en Mtep/an	117
Tableau 143: Bilan des productions et usages de l'énergie en Chine (Sources : Issus de IEA 2003 [66]).....	118
Tableau 144: Bilan des productions et usages de l'énergie en Inde (Sources : Issus de IEA 2003 [66]).....	119
Tableau 145: Bilan des productions et usages de l'énergie aux USA (Sources : Issus de IEA 2003 [66]).....	119
Tableau 146 : Bilan des productions et usages de l'énergie aux USA (Sources : Issus de IEA 2003 [66]).....	120
Tableau 147 : Bilan des productions et usages de l'énergie aux USA (Sources : Issus de IEA 2003 [66]).....	120
Tableau 148: Consommations d'énergie par type d'usage (Sources : Issus de IEA 2003 [66]).....	121
Tableau 149 : Energie substituable et potentiel de réduction des émissions de gaz carbonique (Sources : Issus de IEA 2003 [66]).....	123

1. Objectif et méthode

1.1. Objectif et classification

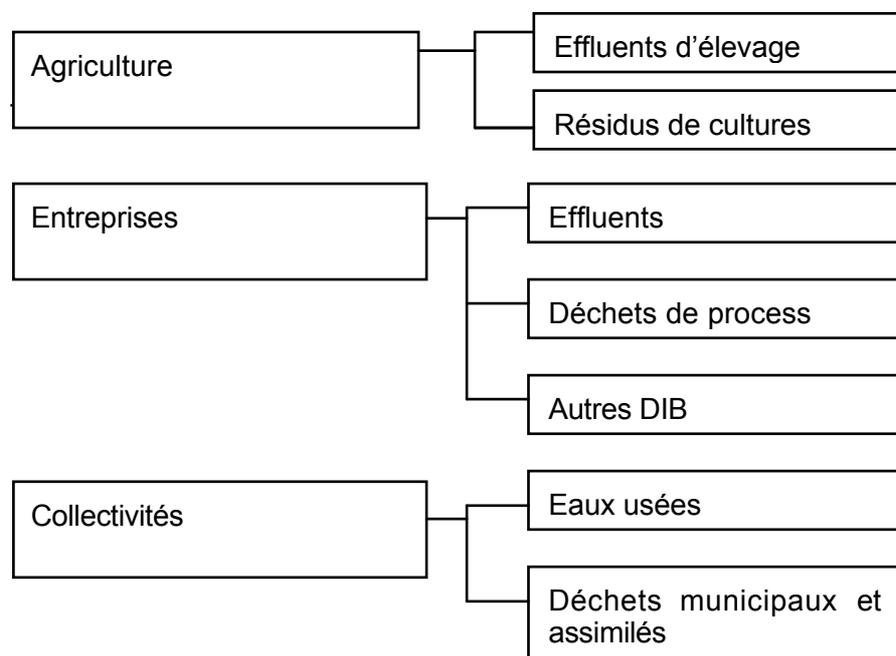
L'objectif de cette partie de l'étude est d'estimer les différents flux de matière organique produite chaque année en France, en Europe, aux USA, en Chine et en Inde, sous ces différentes formes (solide et liquide) et pour chaque filière concernée. Cette matière organique est, suivant les filières, valorisée ou non. L'accessibilité de cette matière organique à un mode de valorisation énergétique sera approfondie dans la partie suivante de l'étude.

La différenciation a été faite entre les flux de matière organique solide et liquide et les effluents gazeux (COVNM). Ces derniers font l'objet d'une estimation, à partir des données spécifiques CITEPA et ADEME pour la France, explicitée au paragraphe 9 « Emissions des gaz fatals ».

À partir de ce point et pour le reste du document, on parlera d'« effluent » pour les effluents liquides et « d'émissions » pour les COVNM.

Pour la matière organique solide et liquide, la classification adoptée est présentée ci-dessous.

Pour chaque filière et type de substrat, nous avons cherché à éliminer les doubles comptes, fréquemment induits par la mixité des filières de gestion des déchets (par exemple la prise en compte ou non de certaines catégories de DIB avec les filières déchets municipaux, ou encore les rejets d'effluents industriels dans le réseau d'assainissement municipal).



Tous les produits, déchets, composés des différentes filières sont caractérisés par une estimation de leur composition physique en matière sèche (% MS) et matière organique (% MO de la MS). La liste des produits et leur caractérisation est donnée en annexe.

1.2. Méthodologie

1.2.1. France

La détermination des gisements de matières organiques passe pour la France par la description complète des flux. Il s'agit de réaliser le bilan entrée-sortie de la matière organique produite sur le territoire français, hors DOM-TOM, c'est-à-dire de la production primaire nette de biomasse aux déchets des consommateurs, en passant par la transformation.

Ce bilan est composé de plusieurs modules entrée/sortie décrivant chaque étape :

- production agricole végétale,
- espaces boisés,
- élevage,
- transformation industrielle de la biomasse végétale,
- transformation industrielle de la biomasse animale,
- transformation industrielle « autre »,
- usagers finaux.

Chaque unité a fait l'objet de recherche sur les quantités de matières premières entrantes, quantités de produits finis ou déchets sortants :

- Pour les modules de production de biomasse primaire (production agricole végétale, espaces boisés et élevage), les gisements sont calculés à partir de ratios de production sur des données standards et accessibles au niveau national (surfaces agricoles, cheptel, surfaces boisés...).
- Pour les modules de transformations, les gisements sont calculés à partir de données issues d'études déjà réalisées sur les différents secteurs. Des ratios ont été établis à partir de ces données pour être appliqués aux autres pays occidentaux.
- Pour les modules des usagers finaux, les gisements sont calculés à partir des données accessibles au niveau national (quantité de déchets produits par habitant, taux de raccordement des effluents urbains aux systèmes de traitement...).

La réalisation du bilan, c'est-à-dire l'établissement des liens entre les modules, a fait l'objet de recherche sur :

- la fermentation entérique et le métabolisme,
- les productions industrielles : produits finis, import-export,
- les quantités consommées par les usagers finaux (alimentation, consommation de bois...).

Les sources d'informations et méthodes de calculs sont explicitées dans chaque partie du rapport.

1.2.2. USA et Europe

La méthodologie employée pour les USA et l'Europe est la même en considérant que les pratiques agricoles et industrielles sont équivalentes. Le périmètre d'étude pour l'Europe est celui de l'Union Européenne des 15.

Tableau 1 : 15 Pays de l'Union Européenne

Pays	Population
Belgique	10 292 000
Allemagne	82 360 000
France	59 343 000
Italie	58 018 000
Luxembourg	447 000
Pays-Bas	16 101 000
Danemark	5 367 000
Royaume-Uni	60 075 000
Irlande	3 873 000
Grèce	10 596 000
Espagne	40 428 000
Portugal	10 303 000
Autriche	8 140 000
Finlande	5 195 000
Suède	8 910 000
Total	379 448 000

Du fait de la complexité de la réalisation d'un bilan complet des flux, seuls les gisements de biomasse produite ont été déterminés pour chaque module sans établir de liens entre les modules.

Les gisements ont été établis :

- pour les modules de production de biomasse primaire (production agricole végétale, espaces boisés et élevage), à partir de ratios de production sur des données standards et accessibles au niveau national (surfaces agricoles, cheptel, surfaces boisés...);
- pour les modules de transformations, à partir des ratios établis pour la France et des données accessibles au niveau national des matières premières entrantes ;
- pour les modules des usagers finaux, à partir des données accessibles au niveau national (quantité de déchets produits par habitant, taux de raccordement des effluents urbains aux systèmes de traitement...).

1.2.3. Chine et Inde

La méthodologie appliquée est identique à celle utilisée pour les USA et l'Europe pour les modules de production primaire et des usagers finaux. Seuls ont été modifiés les coefficients utilisés pour la production agricole végétale (adaptation aux variétés et aux modes de production asiatiques).

Pour les modules de transformation industrielle, du fait de la difficulté d'établir une estimation des pratiques en place, les gisements ont été établis à partir d'informations directes issues d'études nationales déjà réalisées.

1.3. Sources d'information

La bibliographie est constituée d'ouvrages de références, d'ouvrages statistiques, d'articles spécialisés et de données issues des sites internet.

Les références bibliographiques sont représentée dans le texte par un nombre entre crochets - [xx]- se référant à la première colonne du tableau des références reporté en annexe.

Pour la France, les principales sources d'informations sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 : Récapitulatif des sources d'informations françaises pour les différentes filières

	Agriculture	Sources informations	Forêt	Sources informations	Industries	Sources informations	Ménages	Sources informations
Solides	Déchets de récolte	Étude « Paille », SOLAGRO 2001 Données INRA	Déchets de l'industrie du bois	Ministère de l'industrie ADEME CTBA	Déchets de production DIB	Synthèse Étude ADEME 94 actualisée avec les productions 2000 Étude AND International ADEME 2000, Etude DIB	Déchets ménagers et assimilés	Ratios biblio ADEME suivant types d'habitations
	Lisiers et fumiers	Étude Biomasse Normandie, 2002 Brochure IE-ITAVI-ITCF-ITP	Haies, espaces verts et jardins	Enquêtes TERUTI (Ministère Aménagement du Territoire)				
Effluents					Boues industrielles	Agences de bassin Étude AND International	Boues urbaines	Ratios Biblio ADEME, OTV, Degrémont

2. France : matières premières végétales

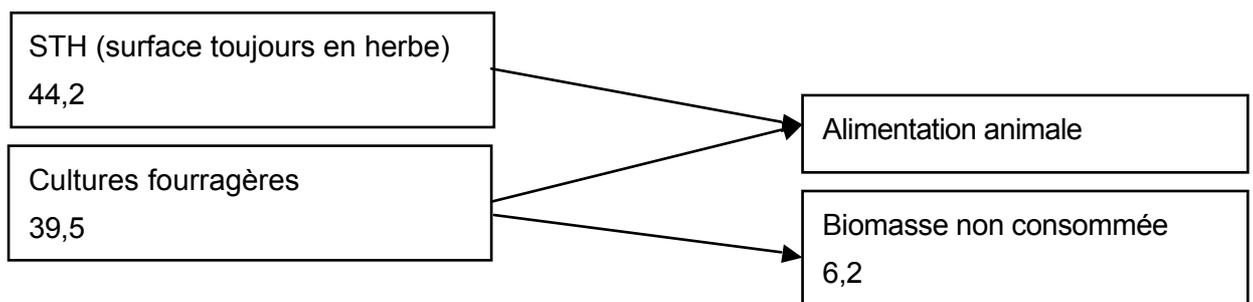
2.1. Les surfaces agricoles

2.1.1. Prairies et cultures fourragères

Les cultures fourragères regroupent les fourrages annuels (ensilage maïs, betterave fourragère...), les prairies temporaires et artificielles (surface semée pour une durée comprise entre 2 et 6 ans), les prairies naturelles (surfaces toujours en herbe) et les surfaces toujours en herbe peu productives (parcours, alpages...). Ces surfaces produisent par an **83,6 MtMO**. Sur ce total, les fourrages annuels et pluriannuels (<6 ans) représentent 39,5 MtMO (43 %) et la surface toujours en herbe (prairies naturelles et surfaces peu productives) 44,2 MtMO (57 %).

Une partie de cette biomasse n'est pas consommée par les animaux. La quantité nécessaire à l'alimentation des animaux (bovin, équin, ovin, caprin) est de **77,5 MtMO**. La différence entre la production et la consommation représente 14 % de la production de la surface toujours en herbe (soit **6,2 MtMO**).

Figure 1 : Prairies et cultures fourragères (Sources : SCEES 1999, [4])



2.1.2. Cultures non fourragères

2.1.2.1. Productions et résidus des cultures non fourragères

La production primaire nette des cultures non fourragères est de 123 MtMO, dont 78 MtMO de productions et 44,8 MtMO de résidus de cultures.

Tableau 3 : Production et destination des cultures non fourragères en MtMO (Source : Agreste 2002, [10])

MtMO	Céréales	Oléoprotéagineux	Autres productions	Total
Autoconsommation	7,4	2,7		10,1
Alimentation animale	18			18
Consommation en frais	8,7	2,7	11,6	23,0
Livraison IAA			2,7	2,7
Exportation - importation	23,2	1,7	-0,4	24,5
Total	57,3	7,1	13,9	78,3
Résidus de cultures	24,5	15	5,3	44,8
Total	81,8	22,1	19,2	123,1

2.1.2.2. Les céréales

La production française de céréales était de 56,7 MtMO en 2000. 57 % de cette production est assurée par la culture du blé tendre. Les importations représentent un très faible volume (0,6 MtMO/an) ; de même que la variation de stock (0,6 MtMO). Le gisement français de céréales est donc de **58 MtMO**. Sur ce gisement, les exportations représentent 41 %, l'autoconsommation des fermes 13 %, l'alimentation animale (hors autoconsommation) 31 % et l'alimentation humaine 15 %.

Tableau 4 : Flux de céréales en France en 2000 (Source : Agreste 2002, [10])

Filières	MtMO	%
Autoconsommation	7,4	13
Alimentation animale	18	31
Livraison IAA	8,7	15
Exportation - importation	23,2	41
Total	58	100

Les livraisons IAA correspondent à 89 % (7,7 MtMO) aux grains nécessaires à la production de farines. Le reste (11 %) rentre dans la filière produisant de la bière (orge de brasserie).

2.1.2.3. Les oléoprotéagineux (graines)

La production française de graines s'élève à **7,1 MtMO** en 2000. 34 % de cette production sert à la fabrication d'**huile**, soit **2,7 MtMO**. Le reste de la production est soit exporté (la balance exportation - importation est de 1,7 MtMO soit 24 % de la production), soit consommée par les exploitations, soit utilisées dans l'alimentation animale.

Tableau 5 : Flux des oléoprotéagineux (Source : Agreste 2002, [10])

Flux de graines	MtMO	%
Production graine	7,1	
Livraison IAA	2,7	38
Exportation - importation	1,7	24
Alimentation animale et autoconsommation	2,7	38

2.1.2.4. Les autres productions

Tableau 6 : Les productions et les livraisons IAA en 2000 en MtMO (Source : Agreste 2002, [10])

Produits	Productions (MtMO)	Solde export - import	Autoconsommation et consommation en frais	Livraisons IAA (MtMO)
Betterave industrielle	8,4	0	0	8,4
Pomme de terre	1,6	0	1,3	0,3
Légumes	1,5	- 0,2	0,7	1
Fruits	0,9	- 0,2	0,7	0,4
Raisin (vin)	1,6	0	0	1,6
Total	14	- 0,4	2,7	11,6

2.1.2.5. Les résidus de cultures

✓ **Méthodologie**

Les résidus de cultures représentent toute la biomasse végétale potentiellement non récoltée ou non récoltable. Ils comprennent à la fois une fraction des parties aériennes et une fraction de parties souterraines. Tous les résidus de culture ne sont pas récoltables (dans des conditions normales). Dans la suite de cette étude, la notion de résidus de culture représentera la **fraction récoltable** de la biomasse restant sur les parcelles après la récolte.

Les surfaces agricoles prises en compte sont celles de 1999.

✓ **Éléments de calculs**

Tableau 7 : Les résidus de cultures mobilisables en tMS/ha/an (Source : SCEES 1999 [14])

Cultures	Résidus (tMS/ha/an)
Blé (tendre, dur)	3,5
Seigle	3,5
Orge	3,1
Avoine	4
Maïs (grains et semence)	4
Sorgho	4
Triticale	6
Riz	3
Colza	5
Tournesol	5
Féveroles, poids	3,5
Soja	1,5
Betterave industrielle	5
Pomme de terre	0,3

✓ **Résultats**

Les résidus de cultures récoltables représentent **44,8 MtMO/an**. Près de 70 % de ces résidus sont des pailles issues des productions céréalières (30,5 MtMO/an de paille), et parmi elles, le blé tendre assure 50 % de la production de paille (15,8 MtMO/an). Il est à noter que sur cette quantité de paille récoltable, une fraction est actuellement mobilisée pour servir de litière aux animaux et est donc déjà comptabilisé dans la production de fumier (Cf. chapitre : Effluents d'élevage). La paille utilisée dans les litières représente 9,3 MtMO/an. Les résidus de cultures mobilisables, en dehors de la paille pour les litières, ne représentent alors plus que **35,5 MtMO/an**.

Tableau 8 : Résidus de cultures mobilisables en MtMO/an

Cultures	Résidus (MtMO/an)
Blé tendre	15,8
Maïs (grain et semence)	6,7
Orge	4,5
Autres céréales	3,7
Tournesol	3,8
Colza	6,5
Autres oléoprotéagineux	1,8
Betterave industrielle	2,1
Pomme de terre	0,05
Total	44,8
Pailles litières	9,3
Total mobilisable (hors litières)	35,5

2.2. Les espaces boisés

2.2.1. Méthodologie

Dans cette étude n'est pas comptabilisé le gisement bois stocké, en lien avec une augmentation croissante de la surface forestière (capitalisation de la forêt). Seuls les rémanents de récoltes sont considérés.

Le gisement de rémanents forestiers a été estimé à partir de l'extrapolation des résultats de l'étude méthodologique au niveau régional commandée par l'ADEME et effectuée par le partenariat SOLAGRO/IFN/RBM en 2003.

La démarche est la suivante :

- Estimation des récoltes forestières en bois rond (compilation des sources IFN et des EAB Enquêtes Annuelles de Branches).
- Estimation d'un gisement brut par un ratio biomasse fixé pour cette étude à 20 % des volumes de bois récoltés. Ce pourcentage indique une quantité de rémanents induite à l'activité forestière.
- Estimation d'un gisement technico-économique mobilisable dans les conditions actuelles. Ce gisement de rémanents est estimé comme représentant 40 % du gisement brut.

Données de conversion : 1 m³ de bois rond récolté a été assimilé à 0,670 tonne anhydre. Le pourcentage de MO a été considéré à 95 % d'après FRICKE [55].

2.2.2. Résultats

Tableau 9 : Production forestière (Source : Statistiques forestières 2000, [6])

		En Mm ³	En Mtonnes anhydres	En Mtonnes de MO
	Production brute	/	/	55,2
	Accroissement net	/	/	16,9
	Prélèvements forestiers (volume IFN)	50	33,7	32
Rémanents	Gisement brut	10	6,7	6,3
	Gisement technico-économique	4	2,7	2,5

2.3. Bilan

Les surfaces agricoles produisent annuellement **206 MtMO** récoltables (fourrages : 77,4 ; cultures : 77,8 ; résidus cultures récoltables : 44,8 ; fourrages non récoltés : 6,2). **155 MtMO** sont utilisés dans des filières d'alimentation (animale, humaine) ou exportés. Au niveau de la forêt et des autres espaces boisés, la production annuelle de biomasse (hors feuilles et racines) s'élève à environ 82 MtMO, dont 55,2 pour les forêts de production.

Tableau 10 : Répartition des flux en MtMO

Alimentation animale	105,6	Fourrage : 77,5 ; céréales et protéagineux : 28,1 (dont autoconsommation fermes : 10,1)
Solde Exportation-importation	24,5	
Livraison IAA	23	
Consommation en frais	2,7	

*Remarque : Pour la filière alimentation animale, il faut ajouter **2,4 MtMO**, correspondant aux importations de tourteaux de soja.*

3. France : élevages

3.1. Déjections : fumier et lisier

3.1.1. Méthodologie

L'estimation des quantités de matières organiques émises par les cheptels français a reposé principalement sur les hypothèses de calculs contenus dans l'étude réalisée par Biomasse Normandie pour le compte du Ministère de l'écologie et du développement durable [11].

Ces paramètres ont été appliqués aux données quantitatives proposées par la statistique agricole.

Un soin particulier a été apporté pour valider les données concernant les troupeaux bovins, ces derniers représentant plus des 3/4 des déjections produites.

Plusieurs étapes ont été nécessaires pour parvenir à estimer les flux de matières organiques des troupeaux :

- 1/ Caractérisation des troupeaux (nombres de tête, catégorie et type).
- 2/ Étude détaillée et application des coefficients.
- 3/ Identification et quantification des flux (lisier, fumier, émissions aux champs).

3.1.1.1. La nature des déjections récupérées

En fonction des troupeaux et des types de bâtiments d'élevage, la forme (lisier ou fumier) sous laquelle on récupère les déjections varie.

Tableau 11 : Répartition des déjections (fumier et lisier) en fonction des troupeaux
(Source : Étude Biomasse Normandie [11])

Troupeaux	Fumier (%)	Lisier (%)
Vaches laitières	80	20
Vaches allaitantes	94	6
Taurillons	94	6
Veaux de boucherie	0	100
Truies mères et porcelets	30	70
Jeunes truies	29	62
Autres porcs	15	85
Ovins, caprins, équins	100	0
Poules et poulettes	0	100
Lapins	0	100
Canards	33	67
Poulets	100	0
Autres volailles	100	0

3.1.1.2. La répartition des flux (bâtiments-parcelles)

En fonction des troupeaux et des petites régions agricoles, le temps passé par les animaux à l'extérieur est très variable. Nous avons retenu les valeurs moyennes présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 12 : Temps de pâturage en % des différents troupeaux (Source : Agreste 2002, [10])

Troupeaux	Temps à l'extérieur (%)
Bovins lait	47
Bovins viande	61
Ovins	64
Caprins	18
Equins	62

Remarques :

- le temps de présence hors des bâtiments est pris en compte avec le mode de logement ;
- les valeurs pour les troupeaux bovins (lait et viande) sont des moyennes pondérées tenant compte de la spécificité (temps à l'extérieur) et de la répartition du cheptel par département.

3.1.1.3. La composition des fumiers et des lisiers

Tableau 13 : La composition des lisiers et des fumiers en MS et MO/MS (Source : Agreste 2002, [10])

Type de déjection	% MS	% MO/MS
Fumier bovin	25	75
Lisier bovin	11	75
Fumier porcin	25	75
Lisier porcin	6	75
Fumier ovin et caprin	30	75
Fumier de canard	13	75
Lisier de canard	10	75
Fumier autres volailles	70	75
Fumier équin	50	75
Lisier poule	10	75
Lisier lapin	10	75

3.1.2. Les résultats

Les déjections animales tous cheptels confondus représentent **35,2 MtMO/an**.

Sur ce gisement, 36 % sont des déjections rejetées lors du **pâturage** des animaux, soit **12,8 MtMO/an**. Les déjections récupérables dans les bâtiments représentent donc **22,4 MtMO/an**.

Sur la totalité des déjections récupérées dans les bâtiments agricoles (64 % du total), 89 % se trouvent sous forme de fumier et 11 % sous forme de lisier. 82 % des déjections récupérables sont issus des troupeaux bovin lait et bovin viande.

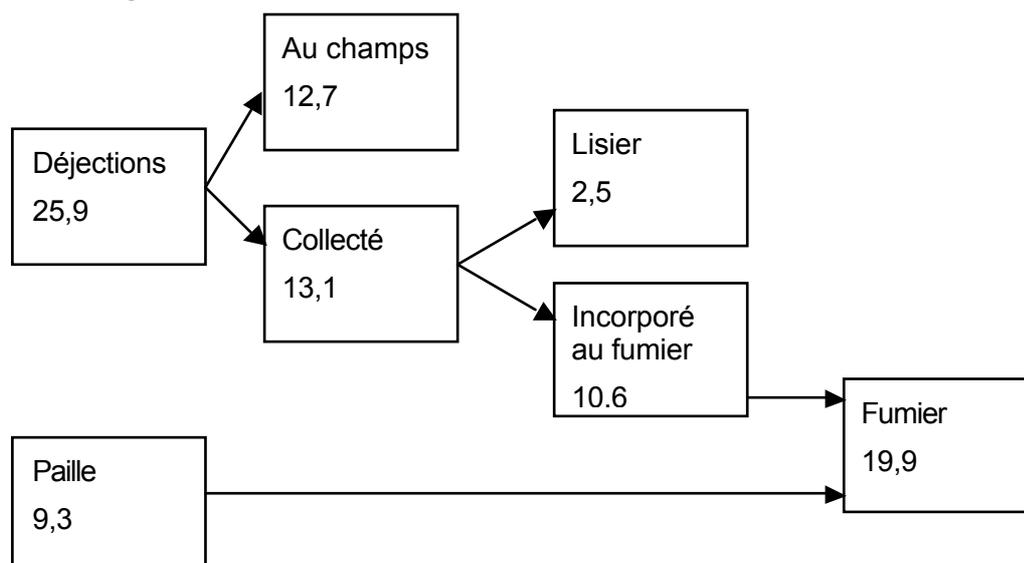
Tableau 14 : Flux de matières organiques (fumier, lisier, parcelles) du cheptel français en 1999
(Source : Issus de [11] et du SCEES 1999 [4])

Cheptel	Fumier produit (MtMO/an)	Lisier produit (MtMO/an)	Emission au champs (MtMO/an)
Bovin	16,7	1,7	11,6
Ovin/caprin	1,5	0	0,8
Equin	0,6	0	0,4
Porcin	1,22	0,9	0
Volaille, lapin	0,001	0,0004	0
Total	19,9	2,5	12,7

Le fumier comprend à la fois des déjections brutes et de la **paille**. La paille présente dans les fumiers représente **9,3 MtMO/an**, soit 47 % de la quantité de fumier produite par an.

La quantité de déjections émise par les animaux (hors paille) est de **25,9 MtMO**. Sur cette quantité 49 % sont émis aux champs, soit **12,7 MtMO**.

Figure 2 : Flux des lisiers et fumiers en France en Mt MO / an



4. France : les entreprises de transformation

4.1. Déchets et sous-produits organiques issus des procédés industriels

4.1.1. Méthodologie

4.1.1.1. Effluents industriels

L'estimation des quantités de matières organiques générées par les industries sous forme d'effluents a été réalisée en plusieurs étapes :

- 1 Synthèse des données des 6 Agences de bassin [33], [34], [35], [36], [37].
- 2 Extrapolation des données détaillées des IAA de 1989 à 2000 en fonction de l'évolution des productions et des rendements épuratoires [32].
- 3 Recoupement des données disponibles dans des études consacrées aux secteurs de la Chimie, du Textile, de la Papeterie et de l'Industrie des Cuirs et Peaux.
- 4 Synthèse des données.

4.1.1.2. Déchets et sous-produits de process

Le gisement théorique de matière organique solide issu des industries correspond à la matière organique contenue dans les déchets et les sous-produits.

Dans cette étude, les définitions des déchets et sous-produits sont les suivantes :

- Sous-produits : produits valorisés actuellement dans une filière à un coût négatif.
- Déchets : produits valorisés actuellement dans une filière à un coût positif.

Il n'existe pas de sources d'informations homogènes et complètes sur le gisement de déchets des industries. La démarche suivante a été adoptée :

- (1) Synthèse des données du document de l'ADEME de 1994 [28].
- (2) Contact avec les Syndicats professionnels, si les Syndicats ont réalisé une étude récente sur les déchets, actualisation des données, sinon actualisation par l'évolution des productions.
- (3) Bouclage des bilans avec les données de production de matières premières agricoles et vérification des données.

4.1.1.3. Éléments de calculs

4.1.1.3.1 Rendement épuratoire

Tableau 15 : Rendement épuratoire sur la MO pour les effluents industriels
(Sources : Données Agences de bassin [33] à [37])

Effluents	Rendement épuratoire
IAA	79 %
Industrie chimique	75 %
Papeterie	86 %
Industrie textile	55 %
Industrie des Cuirs et Peaux	22 %

4.1.1.3.2 Transcription de la DCO en MO

Pour les effluents industriels, les données exprimées en DCO sont transformées en MO par la formule suivante : $MO = (2 \times DBO5 + DCO)/3$.

Le rapport DCO/DBO5 est sensiblement le même pour les industries du même secteur.

Tableau 16 : Rapport DCO/DBO5 par type d'effluents (moyenne)

Effluents	DCO /DBO5	Sources
IAA	1,6	Mémento technique de l'eau, Degrémont [61]
Industrie chimique	2,2	LEEM, Syndicat Indus pharmaceutique (Site internet : www.leem.org)
Papeterie	4,3	Mémento technique de l'eau, Degrémont (moyenne) [61]
Industrie textile	4,0	Mémento technique de l'eau, Degrémont [61]
Industrie des Cuirs et Peaux	1,0	Estimation SOLAGRO

4.1.1.4. Évolution des productions des IAA

Tableau 17 : Evolution des productions annuelles par secteur (Source : Issus de Agreste 2002 [10])

Filières	Évolution annuelle
VIANDES	1,8 %
POISSON	1,8 %
FRUITS ET LEGUMES	2,1 %
CORPS GRAS végétaux + animaux	1,9 %
LAIT	0,4 %
GRAINS, PRODUITS AMYLACÉS	3,1 %
FABRICATION PÂTES	0,4 %
SUCRERIE	-0,2 %
CONFISERIE	0,0 %
LEVURERIES	0,0 %
BOISSONS	-1,1 %
CUIR ET PEAU	- 2,9 %

4.1.2. **Production d'effluents industriels**

Les industries de transformation produisent des effluents chargés en matière organique dissoute ou en suspension, générée par le process lui-même ou par les eaux de lavage ou souvent un mélange des deux.

Ces effluents font l'objet d'un traitement avant rejet dans le milieu naturel. Celui-ci est réalisé sur le site de production ou en station d'épuration communale.

4.1.2.1. Étape 1 : Données des Agences de bassin

La gestion de la pollution industrielle est du ressort des Agences de bassin (cas de toutes les industries) et/ou des DRIRE (cas des industries soumises à la réglementation ICPE).

L'information la plus complète est donc celle des Agences de bassin qui dispose des quantités rejetées dans le milieu naturel par chaque industriel.

Pour les principaux secteurs industriels (IAA, Chimie, Textile, Papeterie, Cuir et peau) le bilan **de pollution organique**, exprimé en tonnes de **Matières Oxydables** (t MO), est donné par la pollution produite par les industriels (« assiette brute ») et la quantité rejetée vers le milieu naturel après traitement sur site ou après station d'épuration communales (« assiette nette »).

La différence entre les quantités correspond à la pollution retirée (boues, carbone dégradé sous forme CO₂ ...).

La synthèse des documents des 6 Agences de bassin a permis de répertorier pour les secteurs industriels principaux (IAA, Chimie organique et Pharmaceutique, Textile, Papeterie, Cuir et peau) ces trois informations.

Tableau 18 : Quantités de matière organique brute, retirée et rejetée par les industries en 2000 en kt MO/an (Source : Agences de bassin [33] à [37])

Secteurs industriels	Pollution brute en kt MO/an	Pollution retirée en kt MO/an	Pollution rejetée en kt MO/an
IAA	920	729	191
Cuir et peau	15	4	12
Industrie du textile	46	25	21
Industrie du Papier	273	235	38
Industrie chimique	186	144	43
Total	1 440	1 136	304

4.1.2.2. Étape 2 : Extrapolation des données détaillées de 1989

Un document de 1989 réalisé par les Agences de bassin donnait le flux détaillé des industries et notamment pour les IAA.

Tableau 19 : Quantités de matière organique brute, retirée et rejetée par les industries en 1989, en kt MO/an (Source : Ministère de l'Industrie [32])

Secteurs industriels	Pollution brute en kt MO/an	Pollution retirée en kt MO/an	Pollution rejetée en kt MO/an
IAA	805	605	200
Abattoirs	64	25	38
Conserveries animaux	33	7	26
Industrie de la Pomme de terre	17	16	2
Conserveries végétaux	82	54	28
Industrie des Corps Gras	11	3	8
Industrie du Lait	204	146	58
Travail des graines	4	1	3
Industrie des Produits amylacés	59	51	7
Sucrierie	230	207	23
Chocolaterie-Confiserie	17	6	10
Levurerie	30	25	5
Industrie des vins, liqueurs et spiritueux	30	5	25
Distillerie de betteraves	72	67	4
Distilleries viticoles	96	73	23
Brasseries Malteries	28	9	20
Industrie des Jus de fruit, cidrerie	25	12	13
Cuir et peau	9	2	7
Industrie du textile	84	28	56
Industrie du Papier	144	51	93
Industrie des Pâtes à papier	75	25	50
Industrie des papiers cartons	67	26	41
Industrie du bois	2	0	2
Industrie chimique	199	105	95
Total	1 242	791	451

Afin de disposer de données détaillées des différentes IAA pour l'année 2000, les chiffres de 1989 ont été extrapolés en l'évolution de la production de chaque filière sur les 10 dernières années.

Cette extrapolation donne sensiblement la même pollution globale pour les IAA.

Elle permet, de plus, d'analyser l'évolution des techniques de traitement.

En effet, si les quantités de matières organiques brutes produites par les industries n'ont pas beaucoup évolué de 1989 à 2000, le rendement épuratoire a, en revanche, fortement augmenté. Il passe de 64 % à 79 % en 10 ans, du fait de l'abaissement des rejets autorisés et l'amélioration des techniques d'épuration (industrie du textile) ou des procédés (recyclage en papeterie).

4.1.2.3. Étape 3 : Recouplement des données

Pour les IAA, les données de 1989 extrapolées et les données de 2000 sont équivalentes (pollution brute d'environ 0,9 - 1 Mt MO/an). Pour les autres secteurs industriels, les données ont été validées par la synthèse d'études spécifiques.

✓ **Papeteries**

Tableau 20 : Recouplement des données Agences de bassin [33] à [37] et ADEME [28] pour les Papeteries

Données Agences	Pollution nette	38	kt MO/an
	Rendement épuration	86 %	moyenne agences
	Pollution brute	273	kt MO/an
	Pollution retirée	235	kt MO/an
Données ADEME 2001	Boues biologiques et primaires	200	kt MO/an à 56 % MS et 50 % MO
	Boues désencrage	125	kt MO/an à 50 % MS et 40 % MO
	Total pollution brute	398	kt MO/an

Les résultats à comparer sont les quantités de boues primaires et biologiques issus du traitement des eaux (200 kt MO/an) et la pollution retirée (235 kt MO/an).

Le désencrage des papiers-cartons recyclés constitue une étape antérieure au traitement des eaux usées. Les boues sont issues d'un pressage et sont fortement minérales (40 % MO). Les quantités de boues de désencrage produites sont donc à ajouter au gisement de pollution brute qui s'élève donc à près de **400 kt MO/an** (pollution brute + boues de désencrage).

✓ **Textile**

Tableau 21 : Recouplement des données Agences de bassin [33] à [37] et ADEME [28] pour l'industrie Textile

Données Agences	Pollution nette	21	kt MO/an
	Rendement épuration	55 %	moyenne agences
	Pollution brute	46	kt MO/an
	Pollution retirée	25	kt MO/an
Données AND International	Boues organiques épandues	12	kt MS/an A 13 % MS
	Gisement total de boues	21	kt MS/an 54 % du gisement total épandu
	soit	17	kt MO/an A 80 % MO

Les résultats issus des deux sources différentes sont équivalents. Les données de l'Agence de l'eau sont validées. La pollution brute s'élève à près de **50 kt MO/an**.

✓ **Cuirs et Peaux**

Tableau 22 : Recouplement des données Agences de bassin [33] à [37] et ADEME [28] pour l'industrie des Cuirs et Peaux

Données ADEME 1994	Pollution nette	18	kt MO/an
	Rendement épuration	22 %	
	Pollution brute	23	kt MO/an
	Pollution retirée	5	kt MO/an
Données Agences	Pollution nette	12	kt MO/an
	Rendement épuration	23 %	moyenne agences
	Pollution brute	15	kt MO/an
	Pollution retirée	4	kt MO/an

Les résultats issus des deux sources différentes sont équivalents. Les données de l'Agence de l'eau sont validées. La pollution brute s'élève à près de **20 kt MO/an**.

✓ **Chimie**

Tableau 23 : Recouplement des données Agences de bassin [33] à [37] et ADEME [28] pour l'industrie Chimique

Données Agences de l'eau	Pollution nette	43	kt MO/an
	Rendement épuration	75 %	72 % à 75 % suivant Agences
	Pollution brute	186	kt MO/an
	Pollution retirée	144	kt MO/an
Données AND International	Boues produites	180	kt MS/an à 26 % MS
	Boues épandues en 2000, 40% du gisement total (25 % enfouis, 35 % incinérés)	144	kt MO/an à 80 % MO
		58	kt MO/an

Les résultats issus des deux sources différentes sont équivalents. Les données de l'Agence de l'eau sont validées. La pollution brute s'élève à près de **150 kt MO/an**.

4.1.2.4. Bilan

Le gisement théorique d'effluents industriels est de **1,7 Mt MO/an**.

Les industries agroalimentaires représentent plus de la moitié du gisement, principalement l'industrie du lait et du sucre. Suivent l'industrie de la chimie organique et pharmaceutique, les conserveries, les abattoirs, les caves vinicoles et les amidonneries.

En 2000, **5 %** de cette matière organique, soit **80 kt MO/an**, est traitée par méthanisation, produisant plus de 300 GWh/an, soit 26 ktep/an.

Le traitement par méthanisation est principalement utilisé dans les brasseries (50 % de la pollution est méthanisée), dans les conserveries (17 % de la pollution est méthanisée), dans l'industrie du vin, distillerie et caves.

En quantités, ce sont les papeteries qui traitent le plus par méthanisation (20 kt MO/an).

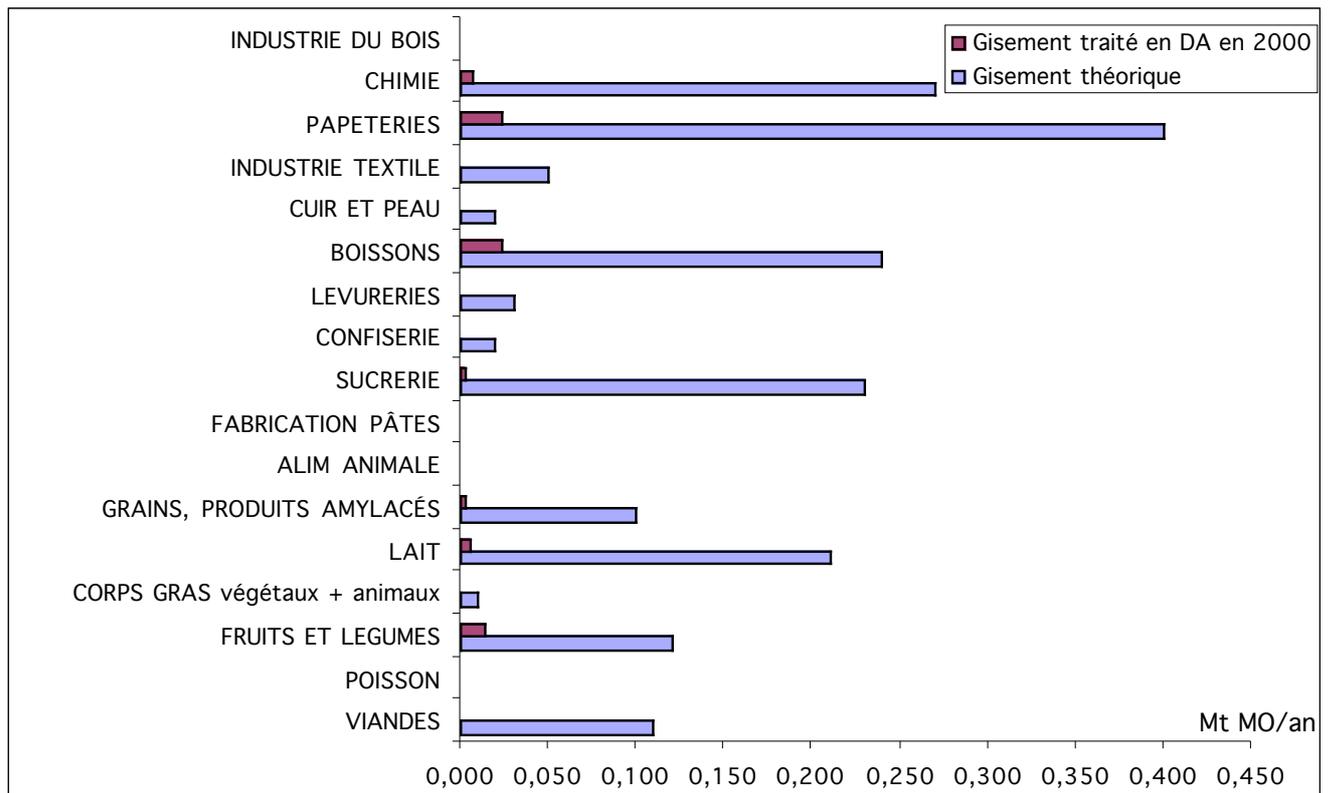
Tableau 24 : Gisement théorique brut de la matière organique produite par les effluents industriels, par secteur, en Mt MO/an

	Gisement brut théorique	Pollution retirée	Rejet	Pollution traitée en méthanisation	Utilisation de la méthanisation en 2000
IAA	1,1	0,8	0,2	0,05	5 %
Abattoirs	0,1	0,1	0,0	0,00	2 %
Conserveries animaux	0,0	0,0	0,0	0,00	3 %
Industrie de la Pomme de terre	0,0	0,0	0,0		0 %
Conserveries végétaux	0,1	0,1	0,0	0,01	13 %
Industrie des Corps Gras	0,0	0,0	0,0		0 %
Industrie du Lait	0,2	0,2	0,0	0,01	2 %
Travail des graines	0,0	0,0	0,0		
Industrie des Produits amylacés	0,1	0,1	0,0	0,00	3 %
Sucrierie	0,2	0,2	0,0	0,00	1 %
Chocolaterie-Confiserie	0,0	0,0	0,0	0,00	5 %
Levurerie	0,0	0,0	0,0		0 %
Industrie des vins, liqueurs et spiritueux	0,0	0,0	0,0	0,00	7 %
Distillerie de betteraves	0,1	0,1	0,0		0 %
Distilleries viticoles	0,1	0,1	0,0	0,01	11 %
Brasseries Malteries	0,0	0,0	0,0	0,01	50 %
Industrie des jus de fruit, cidrerie	0,0	0,0	0,0		0 %
Cuir et peau	0,0	0,0	0,0		0 %
Industrie du textile	0,1	0,0	0,0		0 %
Industrie du papier	0,4	0,4	0,0	0,02	6 %
Industrie des pâtes à papier	0,3	0,2	0,0		0 %
Industrie des papiers cartons	0,1	0,1	0,0		0 %
Industrie chimique	0,2	0,1	0,0	0,01	4 %
Total	1,7	1,3	0,3	0,08	5 %

Tableau 25 : Gisement théorique brut de la matière organique produite par les effluents industriels, par grandes filières, en Mt MO/an

Filières	Gisement brut théorique	Pollution retirée	Rejet	Rendement épuratoire	Pollution traitée en méthanisation
IAA Produits carnés	0,11	0,09	0,02	79 %	0,00
IAA Produits laitiers	0,21	0,17	0,04	79 %	0,01
IAA Produits végétaux	0,73	0,58	0,15	79 %	0,04
Cuir et peau	0,02	0,00	0,02	22 %	0,00
Industrie du textile	0,05	0,03	0,02	55 %	0,00
Industrie du Papier	0,40	0,36	0,04	93 %	0,02
Industrie chimique	0,15	0,11	0,04	75 %	0,01
Total	1,7	1,3	0,3	80 %	0,08

Figure 3 : Répartition sectorielle de la matière organique disponible dans les effluents industriels et quantités d'effluents traités par méthanisation en 2000



4.1.3. Production de matière organique solide

4.1.3.1. Démarche

L'étude de l'ADEME de 1994 [28] est, pour la France, la seule source d'information sur la production de **matière organique solide issue des industries**. Dans cette étude, dont les chiffres n'ont jamais été actualisés, toutes les industries dont les intrants sont issus de l'agriculture sont décrites et leur filière de production détaillée.

Les données de cette étude ont servi de base pour évaluer le gisement des industries **agroalimentaires** et de l'industrie des Cuirs et Peaux.

Elles ont été actualisées en fonction de l'évolution de la production annuelle de chaque filière sauf pour celle des Corps Gras qui a fait l'objet de la synthèse d'un article paru dans un périodique spécialisé [30] réalisé par l'ITERG, son syndicat professionnel. En effet, toutes les organisations professionnelles ont été contactées (voir liste en annexe), seule l'ITERG possède l'information demandée, les autres n'ont jamais réalisé d'étude sur les déchets.

Pour les **autres secteurs** (Chimie organique et pharmaceutique, Textile, Papeterie, Industrie du Bois), les données proviennent d'études spécifiques et des statistiques 2000.

De plus, un bilan sur l'ensemble de la filière agroalimentaire a été réalisé pour boucler les informations ou a minima valider les ordres de grandeur.

Ainsi, pour chaque branche industrielle de première transformation, à la quantité de matières premières, estimées en équivalent MO, entrant dans les industries a été retranchée la quantité de produits finis sortant. La différence représente la quantité de déchets ou sous-produits.

Ce bilan n'a pas été réalisé pour les industries de deuxième transformation par manque d'informations et d'homogénéité sur les différentes filières.

4.1.3.2. Résultats

Tableau 26 : Sources des données sur la production de matières organiques solides, déchets et sous-produits, des industries

Filières	Données de base	Actualisation
VIANDES	ADEME 94 [28]	Proportion déchets par tec et abattage tec 2000
POISSON	ADEME 94 [28]	Evolution annuelle production
FRUITS ET LEGUMES	ADEME 94 [28]	Evolution annuelle production
CORPS GRAS végétaux + animaux	ITERG 2000 [30]	
LAIT	Données 2002 Graph Agri [10]	
GRAINS, PRODUITS AMYLACÉS	ADEME 94 [28]	Evolution annuelle production
FABRICATION PÂTES	SOLAGRO 2001 + [51] nombre salariés 2000	
SUCRERIE	ADEME 94 [28]	Evolution annuelle production
BOISSONS	ADEME 94 [28]	Evolution annuelle production
CUIR ET PEAU	ADEME 94 [28]	Evolution annuelle production
INDUSTRIE TEXTILE	AND International 2000 [29]	
PAPETERIES	Statistiques 2000 [15] et [31]	
CHIMIE	AND International 2000 [29]	
INDUSTRIE DU BOIS	Statistiques 2000 [5]	

Tableau 27 : Comparaison du bilan de production en flux annuels aux quantités de déchets estimées (Source : Issus de ADEME 94 [28] et Agreste 2002 [10])

Branches	Produits mis en oeuvre		Prod. finis		Solde I - E	Déchets*	Déchets ADEME 94**		Effluents	Produits finis destinés à la	
	Mt	MtMO	Mt	MtMO			MtMO	MtMO			MtMO
GRAINS, PRODUITS AMYLACÉS	Grains	8,6	7,3	Farine	5,1	4,4	-0,9	3,0	1,5	0,08	3,4
CORPS GRAS	Graines triturées	3,0	2,6	Huile	1,2	1,2	0,4	1,4	0,7	0,01	1,2
SUCRERIE	Betterave	32,9	8,4	Sucre	4,7	4,3	-2,8	4,2	3,1	0,23	1,4
FRUITS ET LEGUMES	Légumes et fruits à transformer	6,4	1,7	Conserves	2,2	0,5	-0,3	1,2	0,2	0,12	0,2
VITICULTURE	Raisin	9,0	1,4	Vin	5,9	0,7	-0,1	0,6	0,74	0,13	0,6
BRASSERIE	Orge	1,5	1,4	Malte bière	+ 2,8	1,2	-0,1	0,5	0,06	0,02	1,0
LAITERIE	Lait	22,6	2,5	Produits laitiers	8,8	2,3	-0,3	0,2	0,7	0,21	1,3
ABATTOIR	Animaux poids vif	8,0	3,8	Viande plats	+ 6,2	2,4	-0,6	1,5	1,3	0,11	1,8
TOTAL		92,1	29,0		36,9	16,8	-4,7	12,5	8,2	0,9	10,9
Total Animaux		30,6	6,3		15,0	4,6	-0,8	1,7	2,0	0,3	3,1
Total Végétaux		61,4	22,7		22,0	12,2	-3,9	10,8	6,3	0,6	7,8

* Estimation de la quantité de déchets produits par une filière IAA par différence ente les produits entrants et produits finis

** Quantités de déchets estimées à partir des sources ADEME 94 actualisée

*** Différence entre la quantité de déchets calculés par différence et la quantité de déchets estimés

Le bilan sur les branches industrielles générant des déchets et sous-produits solides donne une quantité de déchets et sous-produits de **12,5 Mt MO/an**¹, dont 10,8 Mt MO/an pour les déchets issus des filières végétales

Pour les filières concernées, la quantité de déchets estimée par les autres sources d'information s'élève à 8,2 Mt MO/an et les effluents produits à 0,9 Mt MO/an. Le delta entre les deux estimations de la quantité de déchets solides est de 3,4 Mt MO/an. Nous estimons que la quantité de déchets la plus proche de la réalité est 8,2 Mt MO/an.

¹ Etant donné que dans certaine filière, les étapes de transformation font passer la matière organique de l'état liquide à l'état solide (lait par exemple), les résultats sont exprimés en MO.

Tableau 28 : Quantités brutes de sous-produits et déchets des industries, en Mt brutes/an (Source : Issus de ADEME 94 [28] et Agreste 2002 [10])

Branches	Production brute actualisée	Quantité de sous-produits valorisés	Quantité de déchets non valorisés
VIANDES	3,2	2,9	0,4
POISSON	0,2	0,2	0,1
FRUITS ET LEGUMES	0,8	0,6	0,2
CORPS GRAS végétaux + animaux	1,4	1,4	0,0
LAIT	11,2	9,6	1,6
GRAINS, PRODUITS AMYLACÉS	1,8	1,8	0,0
FABRICATION PÂTES	0,1	0,0	0,1
SUCRERIE	26,1	25,7	0,4
BOISSONS	3,1	1,8	1,3
CUIR ET PEAU	0,0	0,0	0,0
INDUSTRIE TEXTILE	0,0	0,0	0,0
PAPETERIES	7,9	6,9	1,0
CHIMIE	0,0	0,0	0,0
INDUSTRIE DU BOIS	10,4	8,3	2,1
Total	66	59	7

Tableau 29 : Quantités de matière organique issue des sous-produits et déchets des industries, en Mt MO/an et pourcentage de valorisation (Source : Issus de ADEME 94 [28] et Agreste 2002 [10])

Branches	Production actualisée	Quantité de sous-produits valorisés	Quantité de déchets non valorisés	% de valorisation
VIANDES	1,3	1,16	0,10	94 %
POISSON	0,0	0,01	0,00	75 %
FRUITS ET LEGUMES	0,2	0,14	0,03	82 %
CORPS GRAS végétaux + animaux	0,7	0,67	0,01	99 %
LAIT	0,7	0,58	0,10	86 %
GRAINS, PRODUITS AMYLACÉS	1,5	1,51	0,00	100 %
FABRICATION PÂTES	0,0	0,00	0,04	0 %
SUCRERIE	3,1	3,07	0,05	98 %
BOISSONS	0,8	0,49	0,35	58 %
CUIR ET PEAU	0,0	0,01	0,01	67 %
INDUSTRIE TEXTILE	0,0	0,00	0,00	80 %
PAPETERIES	4,3	3,82	0,44	90 %
CHIMIE	0,0	0,00	0,00	0 %
INDUSTRIE DU BOIS	7,7	6,18	1,52	80 %
Total	20,3	17,6	2,6	

La production totale de déchets et sous-produits solides issus des industries s'élève à 67 Mt (matière brute/an).

59 Mt/an sont valorisés suivant différentes filières :

- 33,4 Mt/an de sous-produits des industries agroalimentaires (sucrierie, industrie des grains, fromagerie, abattoirs...) sont valorisés en alimentation animale.
- 6,9 Mt/an de sous-produits sont recyclés dans le process comme matière (papiers-cartons des papeteries) ou comme combustibles (écorces et liqueurs noires des papeteries).
- 2,3 Mt/an de sous-produits sont épandus (eaux calcaïques des sucreries, fumiers des abattoirs).
- 9,6 Mt/an de sous-produits sont utilisés dans l'industrie (les marcs de vinification sont distillés, les sous-produits de l'industrie de corps gras utilisés en lipochimie, les connexes de scierie dans l'industrie du bois et dans les papeteries).
- 6,7 Mt/an des résidus (tare terreuse et pierres) de la collecte des betteraves sucrières sont utilisés en remblai.

Figure 4 : Répartition des filières de valorisation, en matière organique

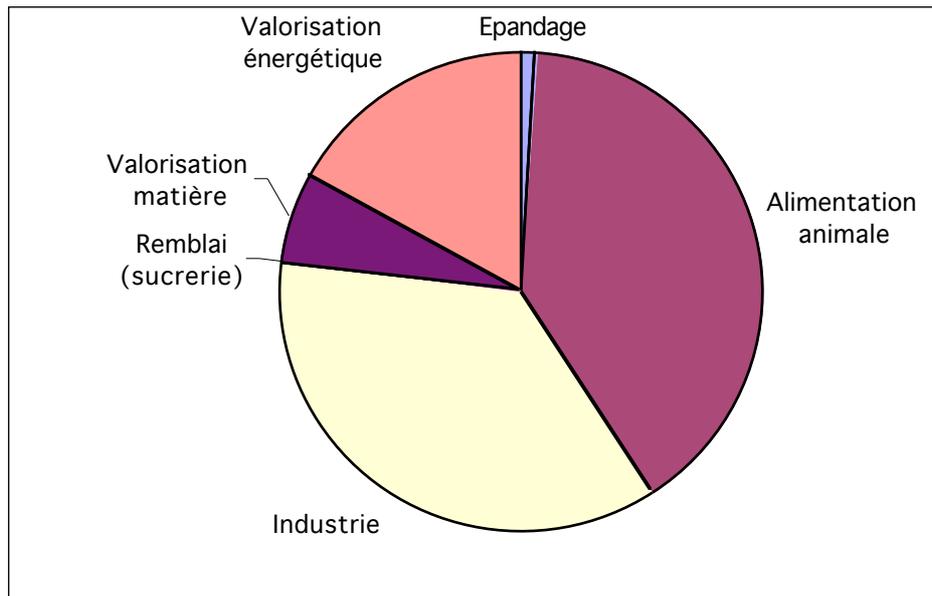


Tableau 30 : Répartition des filières de valorisation des sous-produits et déchets (Source : Issus de ADEME 94 [28] et Agreste 2002 [10])

Industries	Type de valorisation	Mt MO valorisé	Mt MO non valorisé
IAA Produits carnés	Epandage	0,1	0,0
	Alimentation Animale	1,0	0,1
	Industrie	0,0	0,0
IAA Produits laitiers	Alimentation Animale	0,6	0,1
IAA Produits végétaux	Epandage	0,1	0,0
	Alimentation Animale	5,4	0,1
	Industrie	0,4	0,3
	Déchets	0,0	0,1
Chimie	Déchets	0,0	0,0
Textile, cuir et peau	Alimentation Animale	0,0	0,0
	Industrie	0,0	0,0
	Déchets	0,0	0,0
Industrie Papetière	Valorisation énergétique	2,8	0,4
	Valorisation matière	1,1	0,0
Industrie du bois	Industrie	5,9	0,0
	Valorisation énergétique	0,2	0,0
	Déchets	0,0	1,5
Total		17,6	2,6

4.1.4. Conclusion et ratios indicateurs

4.1.4.1. Bilan

Les industries génèrent deux types de pollution :

- les effluents,
- et les déchets de process.

En 2000, les différents secteurs industriels produisent :

- **1,7 Mt MO** sous forme **d'effluent** : 5 % des effluents industriels passent par une étape de traitement par méthanisation.
- **20,3 Mt MO** sous forme **solide**. Les déchets de process sont en grande partie (près de 90 %) valorisés, majoritairement en alimentation animale. Les **déchets** proprement dits, près de **2,6 Mt MO**, ne subissent pas de traitement par méthanisation à l'heure actuelle.

Pour certains secteurs, le statut de sous-produits actuellement valorisés pourrait changer.

C'est le cas notamment des sous-produits animaux avec le Règlement européen 1774/2002, pour lesquels la méthanisation est l'un des procédés acceptés pour les sous-produits de catégorie 3 et de catégorie 2 après stérilisation.

4.1.4.2. Ratios indicateurs pour les industries de transformations

La production d'effluent, de déchets ou de sous-produits organiques a été rapportée à la quantité de matière première initiale, constituant un indicateur stable et disponible.

Le rapport de production de déchets sur cet indicateur constitue le ratio permettant de caractériser une production d'effluent ou de matière organique solide.

Tableau 31 : Indicateurs et ratio de production brute par secteur industriel
(Source : Issus de Graph Agri 2002, [10])

Secteur	Indicateur France	Unité	Ratio Solide Mt MO / Unité	Ratio Effluent Mt MO / Unité
VIANDES	8,0	Mt poids vif abattus en France	0,15	0,01
POISSON	0,6	Mt Production Poisson - E + I	0,01	0,00
FRUITS ET LEGUMES	6,4	Mt de fruits-légumes entrant en usine de transformation (production-E+ I - conso frais)	0,03	0,02
CORPS GRAS végétaux + animaux	3,0	Mt graines d'oléagineux	0,22	0,00
LAIT	22,6	Mt lait collecté	0,03	0,01
GRAINS, PRODUITS AMYLACÉS	8,6	Mt de grains collectés	0,18	0,01
FABRICATION PÂTES	1,5	Mt de pâtes, biscuit	0,02	0,00
SUCRERIE	32,9	Mt betteraves collectées	0,09	0,01
BOISSONS	7,5	Mt de boissons (bière et vin)	0,11	0,03
CUIR ET PEAU	0,1	Mt de peaux et cuirs bruts	0,16	0,16
INDUSTRIE TEXTILE	0,0		0,00	0,00
PAPETERIES	9,6	Mt de papier-carton	0,44	0,04
CHIMIE	17,0	Mt de pétrole à des fins non énergétique	0,00	0,02
INDUSTRIE DU BOIS	6,9	Mt de produits sciés	1,12	0,00

4.2. Les autres déchets industriels banals

Dans cette catégorie de déchets sont comptés tous les déchets solides des industries hormis les déchets directement liés au process. Il s'agit principalement de Recyclables Propres et secs (papier-carton, plastiques, métaux) et d'une fraction de putrescibles.

L'étude de l'ADEME, réalisée sur les quantités de déchets générés par les industries en 2000, donne les informations par filière et type de déchets [27]).

Pour l'industrie du bois et les papeteries, les déchets de process (respectivement bois connexes et papiers-cartons) ne sont pas comptabilisés comme DIB, car ils ont déjà été pris en compte dans le gisement de déchets solides industriels.

Tableau 32 : Gisement annuel de DIB, en Mt de matières brutes (Source : Ademe 2003, [27])

Types de déchets	Gisement total brut	Gisement valorisation matière	Gisement valorisation énergétique	Gisement déchets non valorisés		
	Mt/an	Mt/an	Mt/an	Mt/an	% MS	% MO
Putrescibles	1,3	0,0	0,0	1,3	44 %	77 %
Papiers	1,7	0,4	0,0	1,3	68 %	80 %
Cartons	2,0	0,9	0,0	1,2	70 %	82 %
Complexes	0,1	0,0	0,0	0,1	70 %	60 %
Textiles	0,2	0,0	0,0	0,2	74 %	92 %
Textiles sanitaires	0,2	0,0	0,0	0,2	74 %	92 %
Bois	1,6	0,0	1,0	0,6	78 %	95 %
Déchets verts	0,3	0,0	0,0	0,3	50 %	79 %
Plastiques	1,3	0,4	0,0	0,9	85 %	90 %
Combustibles divers	0,3	0,1	0,0	0,2	85 %	75 %
Verres	1,1	0,3	0,0	0,8	98 %	2 %
Métaux	3,6	3,1	0,0	0,6	90 %	1 %
Incombustibles divers	0,4	0,0	0,0	0,4	90 %	1 %
Déchets spéciaux	0,0	0,0	0,0	0,0	90 %	1 %
TOTAL	14,3	5,2	1,1	8,0		
Flux organique pris en compte	7,5	1,4	1,0	5,1		
Flux non pris en compte	6,8	3,8	0,0	2,9		

Tableau 33 : Gisement annuel de DIB, en Mt de matières organiques (Source : Issus de Fricke 2002, [55]) et Ademe 2003, [27])

Types de déchets	Gisement total brut	Gisement valorisation matière	Gisement valorisation énergétique	Gisement déchets non valorisés
	Mt MO/an	Mt MO/an	Mt MO/an	Mt MO/an
Putrescibles	0,4	0,0	0,0	0,4
Papiers	0,9	0,2	0,0	0,7
Cartons	1,2	0,5	0,0	0,7
Complexes	0,0	0,0	0,0	0,0
Textiles	0,2	0,0	0,0	0,1
Textiles sanitaires	0,1	0,0	0,0	0,1
Bois	1,2	0,0	0,8	0,4
Déchets verts	0,1	0,0	0,0	0,1
Plastiques	1,0	0,3	0,0	0,7
Combustibles divers	0,2	0,0	0,0	0,1
Verres	0,0	0,0	0,0	0,0
Métaux	0,0	0,0	0,0	0,0
Incombustibles divers	0,0	0,0	0,0	0,0
Déchets spéciaux	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	5,5	1,1	0,8	3,5
Flux organique pris en compte	4,2	0,8	0,8	2,7
Flux non pris en compte	1,3	0,4	0,0	0,9

Le gisement théorique de DIB est de 14,3 Mt/an, soit 5,5 Mt MO/an. Près de la moitié des DIB est recyclée, laissant un gisement disponible de 8 Mt/an, dans lequel le gisement de matière organique biodégradable est de **2,7 Mt MO/an**.

4.3. Les déchets de bois du bâtiment et des encombrants ménagers

Les déchets de démolition sont constitués en partie de déchets de bois notamment dans les charpentes, les portes et fenêtres.

Une partie des encombrants ménagers est constituée de bois notamment de meubles et déchets de démolition au niveau individuel.

Ce gisement a été estimé par deux entrées : celle de la production et celle des déchets produits. Pour les deux méthodes, le résultat est équivalent, environ **8 MtMO/an** peuvent être récupérés sous forme de biomasse accessible à la production d'énergie et le bois accessible.

On estime que 80 % de la production de bois destinée au secteur du bâtiment et à l'ameublement, 10,2 Mt MO/an, peuvent être récupérés après utilisation.

Pour l'estimation à partir de la production de déchets du secteur du bâtiment et des encombrants ménagers, les données sont dans le tableau suivant.

Tableau 34 : Quantité de bois contenue dans les encombrants ménagers et déchets du bâtiment
(Source : Issu Ademe site internet : www.ademe.fr)

	Quantité totale* Mt/an	Proportion de bois**	Quantité de bois Mt/an	Quantité de bois Mt MO/an
Déchets du bâtiment	20	40 %	8,0	5,9
Déchets de bois des encombrants ménagers	9,5	30 %	2,9	2,1
Total	29,5		10,9	8,0

* Données ADEME

** Estimation SOLAGRO

5. France : les usagers finaux

5.1. Alimentation

L'alimentation constitue le lien entre les flux sortant des entreprises de transformation industrielle et les usagers finaux.

La caractérisation et la quantification des produits de l'alimentation humaine ont été établies à partir des données du Ministère de l'Agriculture (GraphAgri 2002).

Tableau 35 : Caractérisation de l'alimentation des français (Source : Issus de Graph Agri 2002, [10])

Aliments	kg/haban	% MS	% MO	kg MO/hab/an	Mt MO
Céréales	83,6	50%	95%	39,7	2,4
Sucre	35,3	99%	90%	31,5	1,9
Vin	57,1	10%	100%	5,7	0,3
Pomme de terre	57,2	26%	99%	14,7	0,9
Légumes-fruits	44,3	26%	99%	11,4	0,7
Viandes	99,4	30%	95%	28,3	1,7
Lait	76,7	11%	99%	8,4	0,5
Produits laitiers	38	15%	99%	5,6	0,3
Beurre	8,7	35%	99%	3,0	0,2
Fromage	24,8	35%	99%	8,6	0,5
Œufs	15,5	12%	95%	1,8	0,1
Total	541			159	10

Les usagers finaux consomment **10 Mt MO par an** en alimentation dont **3,4 Mt MO/an** (1,5 Mt MO/an issus de l'industrie laitière et 1,7 issus de l'industrie de la viande) sont issus de biomasse animale et **6,2 Mt MO/an** de biomasse végétale.

5.2. Déchets solides

5.2.1. Sources

La caractérisation des déchets ménagers a été établie à partir des données de l'étude ADEME-AMF-SOFRES [53], des chiffres-clés de l'ADEME [52] et du MODECOM 1993 [54].

La répartition de la population française est donnée par les statistiques INSEE. Les caractérisations physico-chimiques sont issues d'une étude allemande (Fricke et al., 1999).

5.2.2. Définitions et caractérisation

Les déchets ménagers comprennent :

- la poubelle des ménages ;
- les déchets des artisans et commerçants collectés avec les ordures ménagères (DIB assimilés) ;
- et les déchets verts des collectivités.
-

En France, environ 26 millions de tonnes de déchets ménagers et assimilés sont produites chaque année. S'y ajoutent près de 2 Mt/an de déchets verts issus des espaces verts des collectivités.

La répartition et les caractéristiques (estimatives) par zone (urbaine, semi-urbaine et rurale) sont données dans le tableau suivant. Les déchets composant la poubelle brute sont classés suivant s'ils appartiennent aux Déchets biodégradables (FFOM et papiers-cartons) ou Déchets non biodégradables (Recyclables Propres et Secs hors papiers-cartons).

Tableau 36 : Caractérisation des déchets ménagers et assimilés en fonction de la zone de production (Source : Issus de données Ademe, [52] et [53])

	Zone de production Population française (khab)	Urbaine 36 000	Semi-urbaine 10 000	Rurale 14 000		
	Déchets	Ratio de production de déchets (kg/hab/an)			% MS	% MO
	Total	490	380	300		
Biodégradables	Putrescibles	112	96	63	44 %	77 %
	Papiers	87	52	44	68 %	80 %
	Cartons	47	32	26	70 %	82 %
	Complexes (brique alimentaire)	7	5	5	70 %	60 %
	Textiles	11	10	7	74 %	92 %
	Textiles sanitaires	15	13	10	74 %	92 %
	Bois	0	0	0	78 %	95 %
	Déchets verts	20	24	34	50 %	79 %
Non Biodégradables	Plastiques	55	40	34	85 %	90 %
	Combustibles divers	17	11	8	85 %	75 %
	Verres	65	51	37	98 %	2 %
	Métaux	20	16	13	90 %	1 %
	Incombustibles divers	31	30	19	90 %	1 %
	Déchets spéciaux	3	2	2	90 %	1 %

À partir de ces données, la quantité totale de déchets produits est calculée et détaillée par type de déchets.

Les caractéristiques physiques (% MS, % MO) permettent d'évaluer la quantité de matière organique contenue dans la poubelle.

Le flux pris en compte dans le gisement théorique de la matière organique disponible dans les déchets ménagers est celui des déchets biodégradables.

5.2.3. Production

Tableau 37 : Gisement brut de déchets ménagers et assimilés (Source : Issus de Ademe 2003, [52])

Types de déchets (Mt/an)	OM + Déchets verts Collectivités	DIB assimilés	dont restauration	TOTAL
Putrescibles	4,8	1,2	1,1	6,1
Papiers	3,5	0,8	0,1	4,3
Cartons	2,0	0,4	0,3	2,4
Complexes	0,3	0,1	0,0	0,4
Textiles	0,5	0,1	0,0	0,6
Textiles sanitaires	0,7	0,1	0,1	0,8
Bois	0,0	0,0	0,0	0,0
Déchets verts ²	3,0	0,2	0,0	3,2
Plastiques	2,3	0,5	0,2	2,8
Combustibles divers	0,7	0,1	0,1	0,8
Verres	2,8	0,6	0,3	3,4
Métaux	0,9	0,2	0,1	1,0
Incombustibles divers	1,4	0,3	0,0	1,7
Déchets spéciaux	0,1	0,0	0,1	0,2
TOTAL	23	5	2	28
Flux organique pris en compte	14,7	3,0	1,7	17,7
Flux non pris en compte	8,2	1,7	0,8	10,0

La quantité totale de déchets produits par les ménages et les collectivités s'élève à 26 Mt/an plus 1,5 Mt/an de déchets verts des collectivités. La quantité de matière organique biodégradable est de **17,6 Mt matière brute/an**.

² Dont 1,5 Mt/an de déchets issus des collectivités (espaces verts)

Tableau 38 : Gisement de matière organique contenue dans les déchets ménagers et assimilés
(Source : Issus de Ademe 2003 [52] et Fricke [53])

Types de déchets (Mt MO/an)	OM + Déchets verts Collectivités	DIB assimilés	dont restauration	TOTAL
Putrescibles	1,6	0,4	0,4	2,1
Papiers	1,9	0,4	0,0	2,3
Cartons	1,1	0,2	0,2	1,4
Complexes	0,1	0,0	0,0	0,2
Textiles	0,3	0,1	0,0	0,4
Textiles sanitaires	0,4	0,1	0,1	0,5
Bois	0,0	0,0	0,0	0,0
Déchets verts	1,2	0,1	0,0	1,3
Plastiques	1,8	0,4	0,1	2,2
Combustibles divers	0,4	0,1	0,0	0,5
Verres	0,1	0,0	0,0	0,1
Métaux	0,0	0,0	0,0	0,0
Incombustibles divers	0,0	0,0	0,0	0,0
Déchets spéciaux	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	9,1	1,8	0,9	10,9
Flux organique pris en compte	6,8	1,4	0,7	8,1
Flux non pris en compte	2,3	0,5	0,2	2,8

Le gisement théorique de matière organique issue des déchets ménagers assimilés est de **8,1 MtMO/an**.

Actuellement, plus de 3 millions de tonnes de ces déchets sont recyclés, principalement des papiers-cartons, le verre et des plastiques.

En otant ce gisement déjà valorisé, la quantité de matière organique s'élève à **7,3 MtMO/an**.

Tableau 39 : Quantité de déchets recyclés en Mt MO/an (Source : Issus de Ademe 2003 [52])

Types de déchets (Mt MO/an)	OM + DIB assimilés recyclés
Putrescibles	0,0
Papiers	0,5
Cartons	0,3
Complexes	0,0
Textiles	0,0
Textiles sanitaires	0,0
Bois	0,0
Déchets verts	0,0
Plastiques	0,1
Combustibles divers	0,0
Verres	0,0
Métaux	0,0
Incombustibles divers	0,0
Déchets spéciaux	0,0
TOTAL	0,9
Flux organique pris en compte	0,75
Flux non pris en compte	0,16

5.3. Les effluents urbains

Les hypothèses de calculs (Sources : site internet AGHTM, ADEME 2003 [52], Mémento technique de l'eau [61]) sont les suivantes :

- Population (métropole) : 60 millions d'habitants,
- 73 % de la pollution totale émise en France entre dans un système de traitement,
- Rendement moyen des stations d'épuration : 70 %,
- Production d'eaux usées : 140 g DCO/hab/j,
- Rapport DCO/DBO5 : 2,
- Taux global de dépollution : 50 % (objectif 2005 : 65 %).

Tableau 40 : Caractéristiques des effluents urbains
(Source : Issus de Ademe [52] et Degrémont [61])

	Production	Unité	% MS	% MO	Gisement (Mt MO/an)
Eaux usées	93	g MO/hab/j ³			2,0
Boues	15	kg MS/hab/an	10 %	80 %	0,72
Matières de vidange	8	Mm ³ /an	4 %	20 %	0,07
Graisses	5,5	Kg MS/EH/an	30 %	85 %	0,03
Eaux propres					0,45

La pollution totale des effluents urbains s'élève à **2 MtMO/an** (2,4 Mt DCO/an).

Sur ce total, le gisement de boues, matières de vidange et graisses (cibles potentielles pour la méthanisation) s'élève à **0,8 MtMO/an**.

Sur ce gisement, 0,25 Mt de MO par an, soit une capacité de traitement de 20 millions d'équivalents-habitants, sont dirigés vers une unité de méthanisation, produisant au total 85 ktep d'énergie primaire par an.

À partir de ces données, le bilan de la chaîne de traitement des eaux usées peut être réalisé (voir Méthodologie en Annexe 2).

Tableau 41 : Chaîne de traitement des eaux usées en France

Pays	France	
Millions habitants	60	
kG MO/hab.j	93	
pollution totale émise Mt MO/an	2	
Pollution générée en Mt MO/an	non traitée	traitée
Proportion de pollution traitée	27%	73 %
Quantité d'effluents	0,55	1,49
Taux d'épuration des step	0%	70 %
Effluent	0,6	0,4
Retirée (boues + CO ₂)	0,00	1,04
Boues	0,0	0,7
CO ₂ (abattement aérobie)	0,00	0,32
Abattement aérobie		31%

³ MO = (2DCO+DBO5)/3

6. France : bilan général de la biomasse

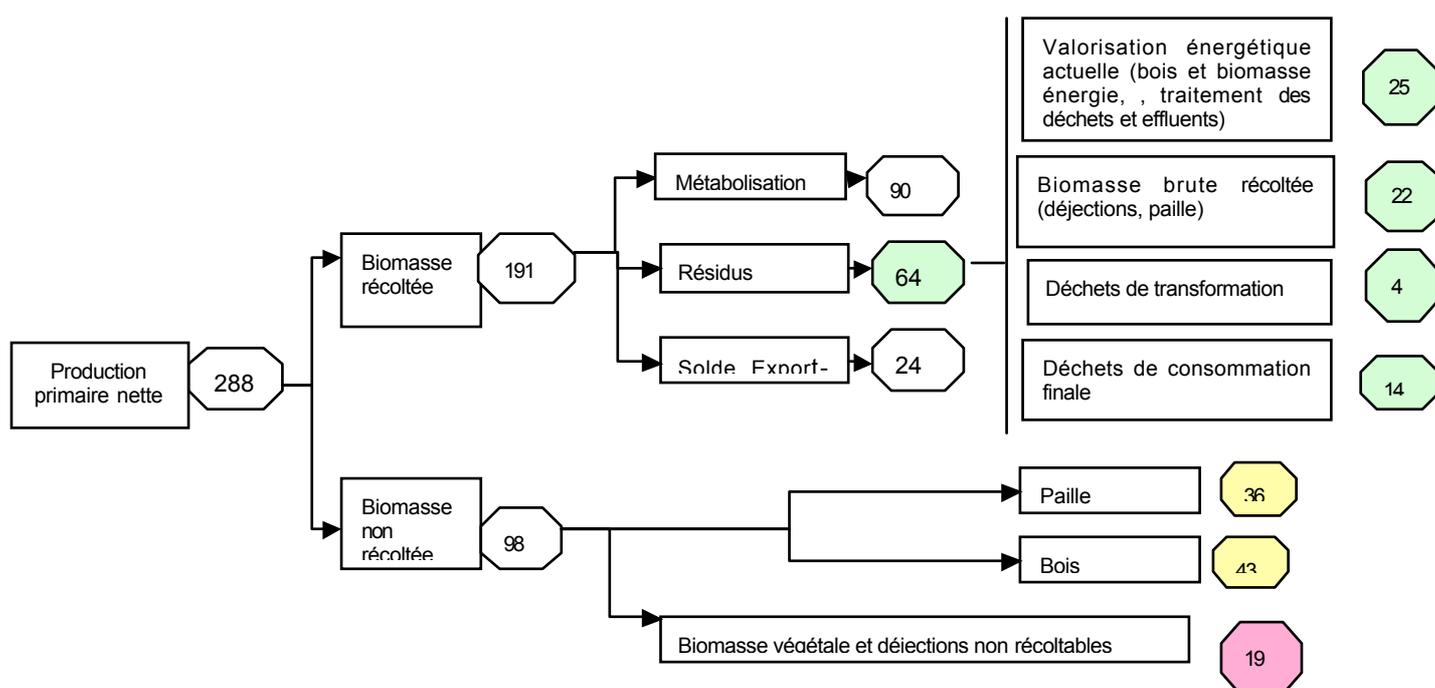
6.1. Flux de la matière organique issue des sols cultivables et des forêts en France

La synthèse des données présentées dans cette étude a permis d'identifier, pour la France, les flux de matière organique issue du sol cultivable et de la forêt. Un bilan général de la biomasse a été réalisé donnant schématiquement les sources de production de la matière organique, les principaux flux produits, consommés et les déchets générés.

Sur certaines filières, le bilan « entrée-sortie » n'est pas bouclé, du fait de la synthèse de données issues de différentes sources d'informations.

Le bilan des flux simplifié est donné dans le schéma ci-dessous, présentant les flux entrants et les destinations finales de la matière organique.

Figure 5: Flux de matières organiques en France



6.2. Bilan et répartition des gisements

La synthèse des données sur les productions de matières végétales et animales, des industries (hors industrie chimique⁴) et des ménages a permis d'identifier les flux de matière organique accessibles à la production d'énergie. Ces gisements sont constitués :

- ✓ De biomasse issue directement des sols et de l'élevage qui est :
 - soit récoltée et non actuellement valorisée en énergie : déjections d'élevage et résidus de culture (paille essentiellement) non laissés aux champs ;
 - soit non récoltée (prairies permanentes, déjections d'élevage et résidus de culture laissés aux champs).
- ✓ De biomasse issue de la forêt qui est :
 - soit récoltée et valorisée en énergie (bois de feu) ;
 - soit non récoltée : forêt non exploitée, espaces arborées (haies principalement), rémanents d'exploitation forestière ;
- ✓ De biomasse contenue dans les déchets de transformation industrielle et des ménages, elle est :
 - soit valorisée sous forme de matière (recyclage, alimentation animale, industrie...),
 - soit valorisée en énergie (incinération, méthanisation),
 - soit non valorisée (déchets).
- ✓ De biomasse contenue dans les effluents industriels, les boues urbaines et les résidus d'assainissement, dont une partie est déjà valorisée en énergie (méthanisation).

Les flux de biomasse générées sont récapitulés dans les tableaux ci-dessous symbolisant les modules de production, de transformation et des usagers finaux.

⁴ N'ont pas été identifiés dans ce bilan les flux de matière organique issus de la production de pétrole

Tableau 42 : MODULE PRODUCTIVITÉ PRIMAIRE NETTE (PPN)

=> depuis	ENTREE	M t MO	SORTIE	M t MO	Vers =>
Productivité primaire nette	Surfaces agricoles	206	Prairies permanentes	44,2	Elevage
			Cultures fourragères	39,5	Elevage
			Cultures non fourragères	123,3	Tranf. Cultures
TOTAL		206		206	
Production primaire nette	Surfaces boisées	82,1	Exploitation forestière	38,3	Exploitation forestière
			Accroissement forestier annuel non prélevé	16,9	Croissance stock
			Production des autres espaces arborés	26,9	Autres espaces arborés
TOTAL		82,1		82,1	
TOTAL		288		288	

Tableau 43 : MODULE ELEVAGE

=> depuis	ENTREE	Mt MO	SORTIE	Mt MO	Vers =>
PPN	Pâture en prairies permanentes	38	Produits carnés	3,8	IAA prod. carnés
PPN	Cultures fourragères	39,5	Produits laitiers	2,5	IAA lait
Tranf. cultures	Autoconsommation	10,1	Autres produits d'origine animale	0,3	IAA autres
Tranf. cultures	Alim. animale	18	Déjections	10,6	FUMIER (19,9)
IAA prod. carnés	Résidus	1,2	Lisiers	2,5	LISIERS
IAA lait	Lactosérum	0,6	Déjections au champs	12,7	
IAA prod. végétaux	Résidus	5,4	Métabolisation	81	GAZ (CO2)
Import-Export	Aliments pour le bétail importés	2,4	Métabolisation	1,5	GAZ (CH4)
TOTAL		115,2		115,2	

Le bilan est bouclé en supposant que les émissions par métabolisation représentent la différence entre les aliments en entrée, et les déjections en sortie.

Tableau 44 : MODULE : TRANSFORMATION CULTURES

=> depuis	ENTREE	Mt MO	SORTIE	Mt MO	Vers =>
PPN	Cultures non fourragères	123,3	Autoconsommation	10,1	Elevage
			Alimentation animale	18	Elevage
			IAA (prod. végétaux)	23,2	
			Produits frais	2,7	Dist. Prod. Végétaux
			Export-Import	24,5	E-I
			Pailles	44,8	SOLIDES
					35,5 non récoltées
					9,3 récoltées
TOTAL		1 23,3		1 23,3	

Par définition la production (entrée) est égale à la somme des sorties. Les calculs sont effectués sur la base des surfaces cultivées et des rendements de production (t/ha) issues des statistiques agricoles.

La précision est estimée à 10 %.

Tableau 45 : MODULE : IAA produits carnés

=> depuis	ENTREE	Mt MO	SORTIE	Mt MO	Vers =>
Élevages	Abattoirs	3,8	Résidus en alimentation animale	1,2	Elevage
			Boues		Epannage
			Export-Import	0,6	E-I
			Produits finis carnés	1,8	Distribution
			Effluents	0,11	
			Résidus solides	0,1	
TOTAL		3,8		3,8	

Tableau 46 : MODULE : IAA produits laitiers

=> depuis	ENTREE	Mt MO	SORTIE	Mt MO	Vers =>
Élevages	IAA lait	2,5	Lactosérum en alimentation animale	0,6	Elevage
			Export-Import	0,3	E-I
			Produits finis laitiers	1,4	Distribution
			Effluents	0,21	0,17 Traitement
			Résidus solides	0,1	Traitement
TOTAL		2,5		2,6	Δ 0,1

Tableau 47 : MODULE : IAA autres produits animaux

=> depuis	ENTREE	Mt MO	SORTIE	Mt MO	Vers =>
Élevages	IAA autres produits animaux	0,3	Autres produits animaux (œufs)	0,3	Distribution
TOTAL		0,3		0,3	

Tableau 48 : MODULE : IAA produits végétaux

=> depuis	ENTREE	M t MO	SORTIE	M t MO	Vers =>
Transf. cultures	Cultures destinées à la consommation humaine	22,7	Produits finis végétaux	7,8	Distribution
			Résidus en alimentation animale	5,4	Élevage
			Export-Import	3,9	E-I
			Effluents	0,73	0,58 Traitement effluents
			Résidus solides des IAA	0,5	
			Epandage et valorisation	0,5	
TOTAL		22,7		18,8	4

On notera une différence de 4 MtMO qui peut être due à une surestimation des productions ou à une sous-estimation des produits finis ou des résidus.

Tableau 49 : MODULE : Distribution produits alimentaires

=> depuis	ENTREE	M t MO	SORTIE	M t MO	Vers =>
IAA prod. végétaux	Prod. végétaux	7,8	Alimentation humaine	6,5	Ménages et restauration collective
IAA prod. végétaux	Végétaux frais	2,7			
IAA prod. carnés	Produits carnés	1,8		1,8	
IAA prod. laitiers	Produits laitiers	1,4		1,4	
IAA autres produits animaux	Autres produits animaux	0,3		0,3	
TOTAL		14		10	Δ 4

Tableau 50 : MODULE EXPLOITATION FORESTIERE

=> depuis	ENTREE	Mt MO	SORTIE	Mt MO	Vers =>
Forêt et espaces boisés	Exploitation forestière	38,3	Bois d'industrie	9	6,4 pâte à papier
					2,6 panneaux
	Feuilles	p.m.	Bois d'œuvre	14,9	13,9 sciage
					1 tranchage
			Bois de feu	8,1	Energie
			Rémanents non récoltés	6,3	
TOTAL		38,3		38,3	

Tableau 51 : MODULE SCIERIE

=> depuis	ENTREE	Mt MO	SORTIE	Mt MO	Vers =>
Exploitation forestière	Sciage	13,9	Bois d'œuvre	6,9	
			Connexes de scierie	2,8	Pâte à papier
			Connexes de scierie	2,6	Panneaux particules
			Connexes de scierie	0,8	Valorisation matière
			Connexes de scierie	0,3	Energie
			Connexes de scierie	0,5	Traitement
TOTAL PATE A PAPIER				13,9	Δ 0

Tableau 52: MODULE - FILIÈRE PAPIER (USINE À PÂTE ET PRODUITS FINIS)

=> depuis	ENTREE	Mt MO	SORTIE	Mt MO	Vers =>
Exploitation forestière	Bois d'industrie	6,4	Pâte à papier	2,6	Papeterie
Filières bois d'œuvre	Connexes de scierie	2,8	Liqueurs noires	2,2	2 : énergie
			Ecorces	1	Energie
TOTAL PÂTE A PAPIER		9,2		5,8	Δ + 3,4
Pâte à papier	Pâte à papier	2,6	Produits finis papetiers	3,9	Ménages
Import/Export	Pâte à papier	2,2	Produits finis papetiers	3,7	Entreprises
Entreprises	Vieux papiers	2	Effluents	0,3	
Ménages	Vieux papiers	0,8			
Import/Export	Produits finis	1,1			
TOTAL PAPIER		8,7		8	Δ + 0,7

Tableau 53 : MODULE PANNEAUX DE PARTICULES

=> depuis	ENTREE	Mt MO	SORTIE	Mt MO	Vers =>
Exploitation forestière	Sciage	2,6	Panneaux	4,2	
	Connexes de scierie	2,6	Déchets	1	Traitement
TOTAL PÂTE A PAPIER		5,2		5,2	Δ 0

Tableau 54 : MODULE TRANCHAGE DEROULAGE

=> depuis	ENTREE	Mt MO	SORTIE	Mt MO	Vers =>
Exploitation forestière	Tranchage déroulage	1	Produits finis	0,9	
			Déchets	0,1	Traitement
TOTAL PÂTE A PAPIER		1		1	Δ 0

Tableau 55 : MODULE CONSTRUCTION, MEUBLES, EMBALLAGE

=> depuis	ENTREE	Mt MO	SORTIE	Mt MO	Vers =>
Sciage	Produits finis	6,9	Bois, matériau bâtiments, meubles	10,2	
Panneaux particules	Produits finis	4,2	Emballages	1,8	
Tranchage déroulage	Produits finis	0,9			
TOTAL PÂTE A PAPIER		12		12	Δ 0

Tableau 56 : MODULE : ENTREPRISES

=> depuis	ENTREE	Mt MO	SORTIE	Mt MO	Vers =>
Distribution produits alimentaires	Produits finis	0	Emballage bois	0,5	Ménages
Distribution produits papetiers	Produits finis	3,7	Vieux papiers	2	Papeteries
Construction	Emballages bois	1,8	DIB	2,5	
Construction	Emballages bois	1,8	DIB	0,8	
TOTAL PATE A PAPIER		5,5		5,8	Δ 0,3

Ce module identifie les flux hors flux de produits végétaux ou animaux des filières agroalimentaires et hors flux de produits ligneux pour les filières bois. On compte ici, par exemple, les emballages bois utilisés dans l'industrie agroalimentaire. Les produits alimentaires consommés par les entreprises de restauration, sont comptabilisés dans le module "ménages et assimilés" pour simplifier.

Tableau 57 : MODULE MENAGES

=> depuis	ENTREE	Mt MO	SORTIE	Mt MO	Vers =>
Distribution produits alimentaires	Produits finis	10,3	Déchets ménagers	6,4	Energie
Distribution produits papetiers	Produits finis	3,9	Eaux usées	2	
Entreprises	Emballages bois	0,5	Métabolisation	5,4	
TOTAL PATE A PAPIER		14,7		14,7	

6.3. Bilan des valorisations énergétiques existantes

Les données suivantes sont issues des statistiques IEA 2001 et de l'état des lieux qui a été réalisé sur la répartition de la production de biogaz en France. Les données énergétiques ont été transcrites en Mt MO par les ratios de productions de déchets (Chapitre "Détermination du gisement énergétique").

Tableau 58 : Type de valorisation des déchets et de la biomasse en France

Valorisation énergétique	Mt MO/an
Incinération déchets municipaux (IEA)	4,7
Biomasse valorisée en énergie (IEA)	21,1
Biogaz et gaz de décharge (IEA)	0,7
Déjections animales (SOLAGRO)	0,0
Industries (SOLAGRO)	0,1
STEP (SOLAGRO)	0,2
Déchets (SOLAGRO)	0,0
Décharges (SOLAGRO)	0,5

Tableau 59 : Production de biomasse, déchets et sous-produits en France en Mt MO/an

En Mt MO/an	Biomasse non récoltée	Biomasse récoltée non valorisée	Biomasse brute valorisée en énergie	Sous-produits valorisés en matière	Déchets non valorisés	Déchets valorisés en énergie	Effluents totaux produits	Effluents valorisés en énergie	Effluents non valorisés
TOTAL	98	22	15	16	15	9,1	3	0,3	3,1
AGRICULTURE ET IAA	54	22	0	7,1	0,6	0,0	1,0	0,1	1,0
Prairies permanentes	6,2						0		
Déjections d'élevage	12,7	13,1					0		
Résidus de culture	35,5	9,3					0		
Abattoirs				1,1	0,1		0,11		0,11
Filière lait				0,6	0,1		0,2		0,2
IAA				5,4	0,44		0,73	0,05	0,68
FORETS	43,1		15,1	6,2	2,0	3,1	0,4	0,0	0,4
Forêt productive non exploitée	16,9								
Espaces arborés	19,9		7				0		
Exploitation forestière	6,3		8,1				0		
Scieries				6,2	0,5	0,3	0		
Tranchage déroulage					0,1		0		
Panneaux					1,0		0		
Filière pâte à papier					0,4	2,8	0,2		0,2
Filière papeterie							0,2		0,2
CONSOMMATION FINALE				2,8	11,9	6,0	2,0	0,3	1,8
Déchets du bâtiment					8,2		0		
Déchets des ménages hors déchets verts				0,8	1	5	2	0,3	1,8
Déchets des entreprises				2	2,5	0,8	0		0,0

Les résultats d'un tel bilan montrent que :

- Les déchets des industries sont minoritaires, 0,6 Mt MO/an, du fait d'une large valorisation matière de leurs sous-produits (7,1 t MO/an) ;
- Les déchets d'élevage et des cultures (paille) actuellement récoltés (22,4 Mt MO/an) représentent un gisement important et accessible ;
- Les déchets résidus de cultures actuellement laissés au champ représentent le gisement le plus important (35,5 Mt MO/an) ;
- La forêt et les espaces forestiers représentent un gisement théorique important (43 Mt MO/an). Les déchets de transformation de l'industrie du bois (6,2 Mt MO/an de connexes) sont la matière première d'une filière économique à part entière, construction de panneaux), et ne constituent pas un gisement accessible à la production d'énergie. Le gisement de rémanents forestiers, parties des arbres travaillés en forêt et non récoltés, n'est pas négligeable en théorie (6,3 Mt MO/an). Dans les conditions technico-économiques actuelles, le gisement accessible serait de 2,5 Mt MO/an. Les déchets de bois du secteur du bâtiment et des encombrants ménagers constituent un gisement théorique important (8,2 Mt MO/an) actuellement récupéré en déchetterie et non valorisé pour la majorité ;
- Les déchets ménagers et les DIB occupent une place prépondérante dans le gisement accessible à la valorisation énergétique (7,3 Mt MO/an) ;
- Les effluents industriels et urbains représentent un gisement de 3,1 Mt MO/an, dont 0,7 Mt MO/an sont actuellement valorisés en méthanisation ;

7. Gisements de la biomasse en Europe, USA, Chine et Inde

7.1. Europe

Le gisement en Europe a été établi pour l'Union Européenne des 15, c'est-à-dire comprenant les pays suivants et regroupant près de 380 millions d'habitants :

Tableau 60 : 15 Pays de l'Union Européenne

Pays	Population
Belgique	10 292 000
Allemagne	82 360 000
France	59 343 000
Italie	58 018 000
Luxembourg	447 000
Pays-Bas	16 101 000
Danemark	5 367 000
Royaume-Uni	60 075 000
Irlande	3 873 000
Grèce	10 596 000
Espagne	40 428 000
Portugal	10 303 000
Autriche	8 140 000
Finlande	5 195 000
Suède	8 910 000
Total	379 448 000

7.1.1. Gisement de la biomasse issue de l'agriculture : productions végétales

7.1.1.1. Méthodologie

La FAO [16] donne les principales informations concernant chaque pays (surfaces et rendements).

Tableau 61 : Caractérisation de la surface agricole européenne (Source : FAO 200, [16])

		EUROPE 15
Surface agricole	millers d'ha	140 965
Terres arables	millers d'ha	73 763
Cultures permanentes	millers d'ha	11 192
Prairies naturelles	millers d'ha	56 009
Céréales	millers d'ha	37 860
Oléoprotéagineux	millers d'ha	5 262
Cultures fourragères	millers d'ha	18 295
Cultures industrielles	millers d'ha	8 118
Autres (vergers, vignes)	millers d'ha	11 125

Ces surfaces produisent annuellement 606 MTMO (Cf. tableau ci-après).

Tableau 62 : Caractérisation de la production végétale récoltée européenne (Source : FAO 2000, [16])

		EUROPE 15
Prairies naturelles	millions tonnes de MO	151
Céréales	millions tonnes de MO	195
Oléoprotéagineux	millions tonnes de MO	12
Cultures fourragères	millions tonnes de MO	151
Cultures industrielles	millions tonnes de MO	77
Autres (vergers, vignes)	millions tonnes de MO	19
Total	millions tonnes de MO	606

Pour chaque culture, la quantité de résidus récoltables (hors racines et chaumes) est exprimée en pourcentage du rendement (MS). Les pourcentages utilisés sont résumés dans le tableau ci-après.

Tableau 63 : Pourcentages utilisés pour le gisement de résidus récoltables en Europe
(Source : SCEES 1999, [4])

		EUROPE 15
Blé	% du rendement (MS)	50 %
Orge	% du rendement (MS)	75 %
Triticale	% du rendement (MS)	75 %
Autres céréales	% du rendement (MS)	50 %
Maïs grain	% du rendement (MS)	75 %
Colza	% du rendement (MS)	220 %
Betterave	% du rendement (MS)	45 %
Pomme de terre	% du rendement (MS)	5 %
Tournesol	% du rendement (MS)	220 %
Sorgho	% du rendement (MS)	50 %
Arachide	% du rendement (MS)	56 %

7.1.1.2. Gisements

Tableau 64 : Gisement de la biomasse issus des résidues de récoltes européennes

		EUROPE 15
Céréales	MtMO	102
Oléoprotéagineux	MtMO	24
Cultures industrielles	MtMO	13
Total	MtMO	139

7.1.2. Gisement de la biomasse issue de l'agriculture : productions animales

7.1.2.1. Méthodologie

La FAO [16] donne les principales informations concernant chaque pays (animaux présents).

Tableau 65 : Caractérisation du cheptel européen (animaux présents) (Source : FAO 2000, [16])

		EUROPE 15
Bovins	millers tête	82 665
Ovins	millers tête	111 660
Caprins	millers tête	11 574
Porcins	millers tête	122 342
Volailles	millers tête	1 140 415
Lapins	millers tête	94 738
Equins	millers tête	2 116
Mules	millers tête	615

Pour chacune des catégories ci-dessus ont été établis, sur la base des données françaises, des ratios de production de lisier et de disponibilité (en fonction du temps passé par les animaux hors des bâtiments). L'ensemble des déjections animales produites est exprimée en lisier (la paille n'est pas comptabilisée dans ces données).

Tableau 66 : Ratios production et disponibilité du lisier (Source : SCEES 1999, [4])

		Production	% MS	% MO	Disponibilité (%)
Bovins	Kg MB/jour	37,15	11 %	75 %	50 %
Ovins	Kg MB/jour	3,26	11 %	75 %	40 %
Caprins	Kg MB/jour	3,26	11 %	75 %	100 %
Porcins	Kg MB/jour	4,43	6 %	75 %	100 %
Volailles	Kg MB/jour	0,2	10 %	75 %	100 %
Lapins	Kg MB/jour	0,99	10 %	75 %	100 %
Equins	Kg MB/jour	55	11 %	75 %	40 %
Mules	Kg MB/jour	28	11 %	75 %	40 %

7.1.2.2. Gisement

Tableau 67 : Gisement de déjections produites et récupérables en Europe
(Source : Issus de FAO 2000, [16] et SCESS [4])

		Déjections produites	Déjections récupérables
Bovins	MtMO	92	46
Ovins	MtMO	11	5
Caprins	MtMO	1	1
Porcins	MtMO	9	9
Volailles	MtMO	7	7
Lapins	MtMO	3	3
Equins	MtMO	4	1
Total	MtMO	126	71

7.1.3. **Gisement de la biomasse issue de la forêt**

7.1.3.1. Méthodologie

La FAO donne les principales informations concernant chaque pays.

Tableau 68 : Caractérisation de la forêt et de l'industrie du bois en Europe Europe
(Source : FAO 2000, [15])

		EUROPE 15
Total forêt	milliers d'ha	115 685
Accroissement annuel	milliers de m ³	448 470
Taux de prélèvement		61 %
Volume de bois contenu dans les forêts	m ³ /ha	130
Volume sur pied	millions de m ³	15 002
Biomasse ligneuse contenue dans les forêts	t/ha	72
Biomasse ligneuse contenue dans les forêts	millions de tonne	8 293
Combustibles ligneux	milliers de m ³	35 036
Bois rond industriels	milliers de m ³	238 979
Prélèvement	milliers de m ³	274 015
Sciages	milliers de t	48 000
Production pâte à papier	milliers de tonnes	33 201
Production papiers cartons	milliers de tonnes	79 500

À partir de ces données, les informations suivantes sont estimées et exprimées en Mt MO/an :

- biomasse sur pied,
- accroissement,
- prélèvement dont bois de feu,
- résidus de récoltes,
- résidus de récoltes accessibles aux conditions technico-économiques actuelles.

Les quantités de biomasse exprimées en tonnes sont rapportées en t MO, en supposant qu'une tonne de bois contient 95 % de MO et qu'un m³ correspond à 0,67 t anhydre.

Les résidus de récoltes bruts sont calculés par extrapolation de la méthode utilisée pour la France soit 20 % du prélèvement, la partie accessible de ce gisement représentant 40 %.

7.1.3.2. Gisements

Tableau 69 : Gisement de la biomasse issus des forêts européennes
(Sources : Issus des données FAO [15])

Biomasse sur pied	Mt MO	7 878
Accroissement	Mt MO	300
Prélèvement	Mt MO	184
Dont bois feu	Mt MO	23
Résidus de récoltes	Mt MO	37
Résidus récoltes technico-éco	Mt MO	15

La quantité de bois de feu consommé correspond à celle issue de la forêt, or une grande partie du bois de chauffage est issu des espaces arborés. La quantité totale est donnée dans le paragraphe "Bilan des valorisations énergétiques existantes".

7.1.4. **Gisement de la biomasse issue de l'industrie**

7.1.4.1. Méthodologie

Les ratios déterminés pour la France, indiquant la production de déchets par rapport à une unité de matières premières entrantes dans les procédés industriels, ont été appliqués aux données européennes issus des sources de l'agroalimentaire, de l'industrie papetière et de la chimie (pétrole).

La proportion de déchets solides valorisés et le rendement d'épuration sur les différentes filières ont été pris égal aux chiffres établis sur la France.

Tableau 70 : Production de matières premières de l'agroalimentaire, de l'industrie papetière et de la chimie pour l'UE des 15 (Sources : Graph Agri Europe 1999 [3])

Activité	Quantité matières premières	Matières premières	% valo sous-produits solides	% épuration effluents
VIANDES	49,83	Mt Poids vifs abattus	94 %	79 %
POISSON	7,50	Mt Production Poisson - E + I	75 %	
FRUITS ET LEGUMES	47,87	Mt de fruits-légumes entrant en usine de transformation (production-E+ I - conso frais)	82 %	79 %
CORPS GRAS végétaux + animaux	34,40	Mt graines d'oléagineux	99 %	79 %
LAIT	115,60	Mt lait collecté	86 %	79 %
GRAINS, PRODUITS AMYLACÉS	56,45	Mt de grains collectés	100 %	79 %
FABRICATION PÂTES	6,00	Mt de biscuiterie	0 %	
SUCRERIE	112,00	Mt betteraves collectées	98 %	79 %
BOISSONS	46,90	Mt de boissons (bière et vin)	58 %	79 %
CUIR ET PEAU	0,00		67 %	41 %
INDUSTRIE TEXTILE	0,00		80 %	58 %
PAPETERIES	79,50	Mt de papier-carton	90 %	91 %
CHIMIE	94,03	Mt de pétrole à des fins non énergétique	0 %	84 %
INDUSTRIE DU BOIS	48	Mt de produits sciés	80 %	-

7.1.4.2. Gisements

Tableau 71 : Gisement de matière organique issues des déchets solides et effluents industriels

Activité	Mt MO déchets solides	Mt MO effluents industriels
VIANDES	7,62	0,68
POISSON	0,09	0,00
FRUITS ET LEGUMES	1,22	0,89
CORPS GRAS végétaux + animaux	7,61	0,11
LAIT	3,44	1,07
GRAINS, PRODUITS AMYLACÉS	9,98	0,53
FABRICATION PÂTES	0,26	0,00
SUCRERIE	10,60	0,78
BOISSONS	5,28	1,50
CUIR ET PEAU	0,00	0,00
INDUSTRIE TEXTILE	0,00	0,00
PAPETERIES	35,28	3,31
CHIMIE	0,01	1,49
INDUSTRIE DU BOIS	53,5	0,00
Total théorique	135	10
Total valorisé ou épuré	117	9
Total déchets ou rejet à la rivière	18	2

Tableau 72 : Gisement de matière organique issue des déchets solides et effluents industriels par grandes filières

Filières	Mt MO déchets solides valorisés	Mt MO déchets solides non valorisés	Mt MO boues industrielles
IAA Filière Viande	7,3	0,4	0,5
IAA Filière Lait	2,9	0,5	0,9
IAA	32,0	3,0	3,0
Filière Papeterie	31,6	3,6	3,0
Industrie du bois	43,0	10,6	0,0
Chimie	0,0	0,0	1,3
TOTAL	117	18	9

7.1.5. Gisement de la biomasse issue des ménages et des entreprises

7.1.5.1. Méthodologie

7.1.5.1.1 Effluents urbains

La quantité de boues urbaines produites en Europe a été déterminée à partir de la donnée en Mt Matière Sèche (Mt MS) Ademe-Arthur Andersen (IFEN 1999 [48]), en appliquant un taux de matière organique, 75 %, pour obtenir des Mt MO.

7.1.5.1.2 Déchets ménagers et assimilés

La composition des déchets dans les différents pays européens, la quantité de déchets produits par habitants et la caractérisation des composés de la poubelle (% MS, % MO cf. données France) ont permis de déterminer le gisement total de matière organique disponible dans les déchets ménagers.

Tableau 73 : Production et composition des déchets pour les pays de l'Union Europe
(Source : Issus de Eurostat 2000 [47])

Pays	Papiers-cartons	Textile	Plastique	Verre	Métaux	Putrescible	Encombrant	Autres déchets	Eurostat kg/hab/an
Belgique	17 %	4 %	6 %	3 %	4 %	20 %	8 %	40 %	423
Allemagne (1)	25 %	3 %	11 %	13 %	4 %	29 %	0 %	15 %	503
France	25 %	3 %	11 %	13 %	4 %	29 %		15 %	448
Italie	29 %	0 %	4 %	20 %	4 %	26 %	12 %	5 %	456
Luxembourg	19 %	2 %	2 %	12 %	2 %	23 %	0 %	40 %	407
Pays-Bas	28 %	2 %	5 %	6 %	3 %	39 %		17 %	513
Danemark	24 %	0 %	3 %	6 %	1 %	30 %	31 %	6 %	522
Royaume-Uni (1)	25 %	3 %	11 %	13 %	4 %	29 %	0 %	15 %	433
Irlande	33 %	2 %	10 %	6 %	3 %	24 %		22 %	478
Grèce	18 %	4 %	10 %	3 %	3 %	51 %		11 %	431
Espagne	21 %	5 %	11 %	7 %	4 %	44 %		8 %	525
Portugal	17 %	0 %	0 %	22 %	4 %	7 %	35 %	15 %	417
Autriche	24 %	3 %	15 %	9 %	7 %	29 %		13 %	431 (2)
Finlande	33 %	2 %	3 %	2 %	5 %	33 %		22 %	431 (2)
Suède	72 %	0 %	3 %	14 %	1 %	0 %	10 %	0 %	431 (2)
% MS	68 %	74 %	85 %	98 %	90 %	44 %	0 %	85 %	
% MO	80 %	92 %	90 %	2 %	1 %	77 %	0 %	75 %	

(1) En absence de données sur la composition, celle-ci a été prise équivalente à celle de la France

(2) Donnée moyenne Europe

7.1.5.1.3 DIB

Pour les DIB, Eurostat ne dispose de données pour 8 pays européens seulement. Celles-ci sont réparties suivant le type de filière de production (IAA, Industrie du bois, Industrie papetière, Industrie du textile...). À partir de ces quantités, un ratio de production moyen a été déterminés par filière, par habitant et par an. La composition des DIB suivant le type de filière est issue des données françaises (ADEME 2003).

Tableau 74 : Caractérisation des déchets produits par filière industrielle Europe
(Source : Issu de Ademe 2003, [27])

Composés	IAA	Textile	Industrie du Bois	Industrie des Papiers Carton	Autres industries
Putrescibles	22 %	13 %	0 %	6 %	8 %
Papiers	23 %	21 %	0 %	77 %	12 %
Cartons	24 %	15 %	0 %	7 %	10 %
Complexes	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Textiles	0 %	37 %	0 %	0 %	0 %
Textiles sanitaires	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Bois	14 %	3 %	99 %	8 %	17 %
Autre non biodégradable	16 %	11 %	0 %	2 %	52 %

Tableau 75 : Gisement de DIB par type d'industrie dans les pays de l'Union et ratios de production Europe (Source : Issus de Eurostat, [47] et Ademe 2003 [27])

kt /an	IAA	Textile	Industrie Bois	Industrie papier carton	Autres Industries	TOTAL	Ratio de production kg/hab/an
Belgique							0
Allemagne							0
France	1213	530	6900	2852	11505	23000	388
Italie	4251	944	2239		15559	22993	396
Luxembourg						0	0
Pays-Bas	3915	82	250	798	4717	9762	606
Danemark						0	0
Royaume-Uni						0	0
Irlande	2358	171	288	165	29	3011	777
Grèce	975	219	77	129	5282	6682	631
Espagne	2171	240	2138	1046	23644	29239	723
Portugal						0	0
Autriche	768	168	3545	1238	1343	7062	868
Finlande	2098	18	3906	5337	4553	15912	3063
Suède							
Total	17 749	2 372	19 343	11 565	66 632	117 661	
kg/hab/an	88	12	96	57	330	583	

7.1.5.2. Gisements

7.1.5.2.1 Effluents urbains

Tableau 76 : Chaîne de traitement des eaux usées en Europe Europe
(Source : Issu de Eurostat, [49] et IFEN 1999 [48])

Pays	UE 15	
Millions habitants	380	
kG MO/hab.j	95	
pollution totale émise Mt MO/an	13	
Pollution générée en Mt MO/an	non traitée	traitée
Proportion de pollution traitée	18 %	82 %
Quantité d'effluents	2,37	10,80
Taux d'épuration des step	0%	70 %
Effluent	2,4	3,2
Retirée (boues + CO ₂)	0,00	7,56
Boues	0,0	5,6
CO ₂ (abattement aérobie)	0,00	1,94
Abattement aérobie		26 %

7.1.5.2.2 Déchets ménagers et assimilés

Tableau 77 : Gisement de matière organique issue des déchets ménagers et assimilés en Europe (Source : Issus de Eurostat, [47], Ademe 2003 [27] et Fricke [55])

Pays	Mt MO/an
Belgique	0,8
Allemagne	10,5
France	6,8
Italie	6,6
Luxembourg	0,0
Pays-Bas	2,5
Danemark	0,6
Royaume-Uni	6,6
Irlande	0,5
Grèce	1,4
Espagne	6,3
Portugal	0,5
Autriche	0,9
Finlande	0,7
Suède	1,5
Total	46

L'Europe produit chaque année 46 Mt MO au total, la proportion de déchets recyclés n'est pas connue.

7.1.5.2.3 DIB

Tableau 78 : Gisement de matière organique issue des DIB, les gisements de papiers-cartons de la filière papetière et le bois de l'industrie du bois sont comptés par ailleurs (Source : Issus de Eurostat, [47])

kt/an de DIB biodégradables	IAA	Textile	Industrie Bois	Industrie papier carton	Autres industries	Total hors filière bois et papier	% MS	% MO	Mt MO/an
Putrecibles	6 338	562	62	1 158	8 978	17 098	44 %	77 %	6
Papiers	6 832	919	0	14 065 (1)	13 017	20 769	68 %	80 %	11
Cartons	7 165	635	70	1 309	10 149	19 328	70 %	82 %	11
Complexes	0	0	0	0	0	0	70 %	60 %	0
Textiles	76	1 575	0	0	87	1 738	74 %	92 %	1
Bois	4 122	131	30 530 (2)	1 475	18 190	23 918	78 %	95 %	18
Total DIB biodégradables	4 647	414	37	348	55 331	82 851			47⁵

(1) Ce tonnage correspond à la quantité de papiers-cartons recyclés dans l'industrie papetière et déjà pris en compte dans le gisement de déchets solides industriels

(2) Ce tonnage correspond à la quantité de déchets de bois (connexes, écorces), et a déjà été pris en compte dans le gisement de la biomasse issue des industries

Ce gisement représente la production totale, la proportion de recyclage n'est pas connue.

7.1.6. Bilan des valorisations énergétiques existantes

Les données suivantes sont issues des statistiques IEA 2001 et consolidées, pour la répartition de la production de biogaz, par l'état des lieux qui a été réalisé pour les différents pays européens dans la phase 1 de l'étude.

Les données énergétiques ont été transcrites en Mt MO par les ratios de productions de déchets (Chapitre "Détermination du gisement énergétique accessible").

Tableau 79 : Type de valorisation des déchets et de la biomasse en Europe (Source : Issus des statistiques IEA [66] et SOLAGRO (Étude 1^{ère} partie) [66])

Valorisation énergétique	Mt MO/an
Incinération déchets municipaux (IEA)	15,0
Biomasse valorisée en énergie (IEA)	111,2
Biogaz et gaz de décharge (IEA)	10,4
Déjections animales (SOLAGRO)	1,2
Industries (SOLAGRO)	0,5
STEP (SOLAGRO)	2,9
Déchets (SOLAGRO)	0,3
Décharges (SOLAGRO)	5,5

⁵ Ce gisement équivaut à une production de DIB de 124 kg MO/habitant/an

Tableau 80 : Production de biomasse, déchets et sous-produits en Europe (UE 15), en Mt MO/an

En Mt MO/an	Biomasse non récoltée	Biomasse récoltée non valorisée	Biomasse brute valorisée en énergie	Sous-produits valorisés en matière	Déchets non valorisés	Déchets valorisés en énergie	Effluents totaux produits	Effluents valorisés en énergie	Effluents non valorisés
TOTAL	502	100	112	83	82	28,6	20,4	3,4	17,0
AGRICULTURE ET IAA	165	100	1	42,2	3,9	0,0	4,4	0,5	3,9
Prairies permanentes									
Déjections d'élevage	55	71	1,08						0
Résidus de culture	110	29							0
Abattoirs				7,3	0,4		0,5		0,5
Filière lait				2,9	0,5		0,9		0,9
IAA				32	3		3	0,48	2,52
FORETS	337	0	111,2	41,0	14,2	2,0	3,0	0,0	3,0
Forêt productive non exploitée	300								0
Espaces arborés									
Exploitation forestière	37		111,2						0
Industrie du bois				41	10,6	2	0		0
Filière papeterie					3,6	30,8	3,0		3
CONSOMMATION FINALE	0	0	0,0	0,0	63,4	26,6	13,0	2,9	10,1
Déchets du bâtiment									
Déchets des ménages hors déchets verts					22	21	13,0	3	10
Déchets des entreprises (DIB)					41,3	5,7			0

7.2. États-Unis

7.2.1. Gisement de la biomasse issue de l'agriculture : productions végétales

7.2.1.1. Méthodologie

La FAO [16] donne les principales informations concernant chaque pays (surfaces et rendements).

Tableau 81 : Caractérisation de la surface agricole des Etats-Unis (Sources : FAO 2000, [16])

		USA
Surface agricole	millers d'ha	412 877
Terres arables	millers d'ha	176 827
Cultures permanentes	millers d'ha	2 050
Prairies naturelles	millers d'ha	234 000
Céréales	millers d'ha	58 562
Oléoprotéagineux	millers d'ha	31 602
Cultures fourragères	millers d'ha	34 690
Cultures industrielles	millers d'ha	9 516
Autres (vergers, vignes)	millers d'ha	1 758

Ces surfaces produisent annuellement 1 167 MTMO (Cf. tableau ci-après).

Tableau 82 : Caractérisation de la production végétale récoltée des Etats-Unis (Sources : FAO 2000, [16])

		USA
Prairies naturelles	millions tonnes de MO	527
Céréales	millions tonnes de MO	309
Oléoprotéagineux	millions tonnes de MO	71
Cultures fourragères	millions tonnes de MO	198
Cultures industrielles	millions tonnes de MO	52
Autres (vergers, vignes)	millions tonnes de MO	10
Total	millions tonnes de MO	1 167

Pour chaque culture, la quantité de résidus récoltables (hors racines et chaumes) est exprimée en pourcentage du rendement (MS). Les pourcentages utilisés sont résumés dans le tableau ci-après.

Tableau 83 : Pourcentages utilisés pour le gisement de résidus récoltables aux Etats-Unis
(Sources : SCEES 1999, [4])

		USA
Blé	% du rendement (MS)	50 %
Orge	% du rendement (MS)	75 %
Triticale	% du rendement (MS)	75 %
Autres céréales	% du rendement (MS)	50 %
Maïs grain	% du rendement (MS)	75 %
Colza	% du rendement (MS)	220 %
Betterave	% du rendement (MS)	45 %
Pomme de terre	% du rendement (MS)	5 %
Tournesol	% du rendement (MS)	220 %
Sorgho	% du rendement (MS)	50 %
Arachide	% du rendement (MS)	56 %

7.2.1.2. Gisements

Tableau 84 : Gisement de la biomasse issus des résidues de récoltes aux Etats-Unis

		USA
Céréales	MtMO	200
Oléoprotéagineux	MtMO	41
Cultures industrielles	MtMO	4
Total	MtMO	245

7.2.2. Gisement de la biomasse issue de l'agriculture : productions animales

7.2.2.1. Méthodologie

La FAO [16] donne les principales informations concernant chaque pays (animaux présents).

Tableau 85 : Caractérisation du cheptel des Etats-Unis (animaux présents)
(Sources : FAO 2000, [16])

		USA
Bovins	millers tête	98 198
Ovins	millers tête	7 032
Caprins	millers tête	1 300
Porcins	millers tête	59 342
Volailles	millers tête	1 952 600
Equins	millers tête	5 240
Mules	millers tête	80

Pour chacune des catégories ci-dessus ont été établis, sur la base des données françaises, des ratios de production de lisier et de disponibilité (en fonction du temps passé par les animaux hors des bâtiments). L'ensemble des déjections animales produites est exprimée en lisier (la paille n'est pas comptabilisée dans ces données).

Tableau 86 : Ratios production et disponibilité du lisier (Sources : SCEES 1999, [4])

		Production	% MS	% MO	Disponibilité (%)
Bovins	Kg MB/jour	37,15	11 %	75 %	50 %
Ovins	Kg MB/jour	3,26	11 %	75 %	40 %
Caprins	Kg MB/jour	3,26	11 %	75 %	100 %
Porcins	Kg MB/jour	4,43	6 %	75 %	100 %
Volailles	Kg MB/jour	0,2	10 %	75 %	100 %
Lapins	Kg MB/jour	0,99	10 %	75 %	100 %
Equins	Kg MB/jour	55	11 %	75 %	40 %
Mules	Kg MB/jour	28	11 %	75 %	40 %

7.2.2.2. Gisement

Tableau 87 : Gisement de déjections produites et récupérables aux Etats-Unis
(Sources : Issus de FAO, [16] et SCEES 1999 [16])

		Déjections produites	Déjections récupérables
Bovins	MtMO	110	55
Ovins	MtMO	1	0,4
Porcins	MtMO	4	4
Volailles	MtMO	10	10
Equins	MtMO	9	3
Total	MtMO	134	74

7.2.3. **Gisement de la biomasse issue de la forêt**

7.2.3.1. Méthodologie

Pour la forêt, la méthodologie appliquée est identique à celle appliquée pour l'Europe.

Tableau 88 : Caractérisation de la forêt et de l'industrie du bois aux USA
(Sources : FAO 2000, [15])

		USA
Total forêt	milliers d'ha	225 993
Accroissement annuel	milliers de m ³	732 266
Taux de prélèvement		67%
Volume de bois contenu dans les forêts	m ³ /ha	136
Volume sur pied	millions de m ³	30 735
Biomasse ligneuse contenue dans les forêts	t/ha	108
Biomasse ligneuse contenue dans les forêts	millions de tonne	24 407
Combustibles ligneux	milliers de m ³	70 160
Bois rond industriels	milliers de m ³	420 458
Prélèvement	milliers de m ³	490 618
Sciages	milliers de t	73 900
Production pâte à papier	milliers de tonnes	58 376
Production papiers cartons	milliers de tonnes	88 100

À partir de ces données, les informations suivantes sont estimées et exprimées en Mt MO/an :

- biomasse sur pied,
- accroissement,
- prélèvement dont bois de feu,
- résidus de récoltes,
- résidus de récoltes accessibles aux conditions technico-économiques actuelles.

Les quantités de biomasse exprimées en tonnes sont rapportées en t MO, en supposant qu'une tonne de bois contient 95 % de MO et qu'un m³ correspond à 0,67 t anhydre.

Les résidus de récoltes bruts sont calculés par extrapolation de la méthode utilisée pour la France soit 20 % du prélèvement, la partie accessible de ce gisement représentant 40 %.

7.2.3.2. Gisements

Tableau 89 : Gisement de la biomasse issus de la forêt américaine (Sources : FAO 2000, [15])

Biomasse sur pied	Mt MO	23 187
Accroissement	Mt MO	491
Prélèvement	Mt MO	329
Dont bois feu	Mt MO	47
Résidus de récoltes	Mt MO	66
Résidus récoltes technico-éco	Mt MO	26

La quantité de bois de feu consommé correspond à celle issue de la forêt, or une grande partie du bois de chauffage est issue des espaces arborés. La quantité totale est donnée dans le paragraphe "Bilan des valorisations énergétiques existantes".

7.2.4. Gisement de la biomasse issue de l'industrie

7.2.4.1. Méthodologie

Comme pour l'Union européenne, les ratios de production de déchets organiques solides et les effluents liquides industriels déterminés pour la France ont été utilisés pour les Etats-Unis.

Les quantités de matières premières sont issues des différentes sources. La proportion de déchets solides valorisés et le rendement d'épuration sur les différentes filières ont été pris égal aux chiffres établis sur la France.

Tableau 90 : Production de matières premières de l'agroalimentaire, de l'industrie papetière et de la chimie pour les Etats-Unis (Sources : Issus de OFIVAL [40], FAO [41], Finish Report [39], USDOE [42])

Activité	Quantité matières premières	Matières premières	% valo sous-produits solides	% épuration
VIANDES	53,9	Mt Poids vifs abattus (OFIVAL)	94 %	79 %
POISSON	12,2	Mt Production Poisson - E + I (Fishery Information 2003)	75 %	-
FRUITS ET LEGUMES	29,7	Mt de fruits-légumes entrant en usine de transformation (FAO+Ministry Agriculture)	82 %	79 %
CORPS GRAS végétaux + animaux	10,9	Mt huile (FAO)	99 %	79 %
LAIT	77,0	Mt lait collecté (FAO)	86 %	79 %
GRAINS, PRODUITS AMYLACÉS	20,0	Mt farine de blé (FAO)	100 %	79 %
FABRICATION PÂTES	40,0	Mt de biscuiterie (FAO)	0 %	
SUCRERIE	7,5	Mt sucre (FAO)	98 %	79 %
BOISSONS	25,9	Mt de boissons (bière et vin) (FAO)	58 %	79 %
CUIR ET PEAU			67 %	41 %
INDUSTRIE TEXTILE			80 %	58 %
PAPETERIES	88,1	Mt de papier-carton (Finnish Report)	90 %	91 %
CHIMIE	121	Mt de pétrole à des fins non énergétique (DOE 1999)	0 %	84%
INDUSTRIE DU BOIS	73,9	Mt de produits sciés	80 %	-

7.2.4.2. Gisement

Tableau 91 : Gisement de matière organique issue des déchets solides et effluents industriels

Activité	Mt MO déchets solides	Mt MO effluents industriels
VIANDES	8,24	0,74
POISSON	0,14	0,00
FRUITS ET LEGUMES	0,76	0,55
CORPS GRAS végétaux + animaux	3,27	0,05
LAIT	2,29	0,71
GRAINS, PRODUITS AMYLACÉS	4,64	0,25
FABRICATION PÂTES	1,76	0,00
SUCRERIE	5,52	0,41
BOISSONS	2,91	0,83
CUIR ET PEAU	0,00	0,00
INDUSTRIE TEXTILE	0,00	0,00
PAPETERIES	39,08	3,67
CHIMIE	0,01	1,92
INDUSTRIE DU BOIS	82,4	-
Total théorique	151	9
Total valorisé ou épuré	127	8
Total déchets ou rejet à la rivière	24	1

Tableau 92 : Gisement de matière organique issue des déchets solides et effluents industriels par grandes filières

Filières	Mt MO déchets solides valorisés	Mt MO déchets solides non valorisés	Mt MO boues industrielles
IAA Filière Viande	7,9	0,5	0,6
IAA Filière Lait	2,0	0,3	0,6
IAA	15,6	3,2	1,6
Filière Papeterie	35,0	4,0	3,3
Industrie du bois	66,1	16,3	0,0
Chimie	0,0	0,0	1,6
TOTAL	127	24	8

7.2.5. Gisement de la biomasse issue des ménages et des entreprises

7.2.5.1. Méthodologie

7.2.5.1.1 Effluents urbains

La quantité de boues urbaines produites aux Etats-Unis a été déterminée à partir de la donnée en Mt Matière Sèche (Mt MS) Ademe-Arthur Andersen de 1999 en appliquant un taux de matière organique, 75 %, pour obtenir des Mt MO.

7.2.5.1.2 Déchets ménagers et assimilés

Le gisement de matière organique des déchets ménagers a été estimé à partir des données fédérales de l'EPA, quantité de déchets produits et composition de la poubelle des ménages et des données sur la caractérisation des composés de la poubelle (cf. données France).

Tableau 93 : Caractéristiques de la poubelle des ménages américains (Sources : EPA 2003 [59])

Composés	Proportion	% MS	% MO
Putrescibles	11 %	44 %	77 %
Papiers-cartons	36 %	68 %	80 %
Textiles	7 %	74 %	92 %
bois	6 %	78 %	95 %
déchets verts	12 %	50 %	79 %
Plastiques	11 %	85 %	90 %
verres	6 %	98 %	2 %
Métaux	8 %	90 %	1 %
Incombustibles divers	3 %	90 %	1 %

7.2.5.1.3 DIB

Aucune information n'a été trouvée sur la quantité de DIB produits aux Etats-Unis. Le gisement a été estimé, en première approche, en appliquant le ratio de production européen (124 kg/hab/an).

7.2.5.2. Gisement

7.2.5.2.1 Effluents urbains

Tableau 94 : Chaîne de traitement des eaux usées aux Etats-Unis (Sources : Issus de EPA [60])

Pays	USA	
Millions habitants	281	
kG MO/hab.j	101	
pollution totale émise Mt MO/an	10	
Pollution générée en Mt MO/an	non traitée	traitée
Proportion de pollution traitée	15 %	85 %
Quantité d'effluents	1,55	8,76
Taux d'épuration des step	0 %	70 %
Effluent	1,5	2,6
Retirée (boues + CO ₂)	0,00	6,14
Boues	0,0	6,0
CO ₂ (abattement aérobie)	0,00	0,14
Abattement aérobie		2 %

On notera que la production de boues estimée par Arthur Andersen (1999) de 6 Mt MO/an (8 Mt MS/an) donne un abattement aérobie proche de 0 (2 %). Cette valeur est faible, une production de 4 Mt MO/an porterait celle-ci autour de 30 %. Il semblerait que la production de boues urbaines aux Etats-Unis soient comprises entre ces 2 valeurs (4-6 Mt MO/an).

7.2.5.2.2 Déchets ménagers et assimilés

Les Etats-Unis compte 280 Millions d'habitants, dont 217 Millions vivent en milieu urbain ; Au total, 229 Millions de tonnes de déchets sont produits par les ménages chaque année.

Tableau 95 : Gisement de matière organique issue des déchets ménagers américains (Sources : Issus de EPA 2003 [58] et Fricke [55])

	Mt MO/an
Putrescibles	9
Papiers	44
Textiles	11
Bois	10
Déchets verts	11
Plastiques	19
Verres	0
Métaux	0
Incombustibles divers	0
Total biodégradables	85
Total non biodégradables	20

Une partie des papier-cartons est recyclée mais cette proportion n'est pas connue. Au total 30 % de la poubelle (papier, verre, métaux, plastiques) sont recyclés.

7.2.5.2.3 DIB

Le gisement total de DIB s'élèverait à 35 Mt MO/an en appliquant le ratio européen de production à la population américaine. Le recyclage n'apparaît pas.

7.2.6. Bilan des valorisations énergétiques existantes

Les données suivantes sont issues de l'état des lieux qui a été réalisé par les statistiques IEA 2001 [66] et la répartition sur la production de biogaz a été estimée en fonction des données issues de l'état des lieux aux USA.

Les données énergétiques ont été transcrites en Mt MO à partir des ratios de productions de déchets (Chapitre "Détermination du gisement énergétique accessible").

Tableau 96 : Type de valorisation des déchets et de la biomasse aux USA
(Sources : Issus de Statistiques IEA [66] et SOLAGRO [Étude 1^{ère} partie])

Valorisation énergétique	Mt MO/an
Incinération déchets municipaux (IEA)	20,2
Biomasse valorisée en énergie (IEA)	116,5
Biogaz et gaz de décharge (IEA)	11,1
Déjections animales (évaluation SOLAGRO)	1,3
Industries (évaluation SOLAGRO)	0,5
STEP (évaluation SOLAGRO)	3,1
Déchets (évaluation SOLAGRO)	0,4
Décharges (évaluation SOLAGRO)	5,8

Tableau 97 : Production de biomasse, déchets et sous-produits aux USA, en Mt MO/an

En Mt MO/an	Biomasse non récoltée	Biomasse récoltée non valorisée	Biomasse brute valorisée en énergie	Sous-produits valorisés en matière	Déchets non valorisés	Déchets valorisés en énergie	Effluents totaux produits	Effluents valorisés en énergie	Effluents non valorisés
TOTAL	811	125	118	88	82	37	16,1	3,6	12,5
AGRICULTURE ET IAA	254	125	1	25,5	4,0	0,0	2,8	0,5	2,3
Prairies permanentes									
Déjections d'élevage	60	74	1,3						0
Résidus de culture	194	51							0
Abattoirs				7,9	0,5		0,6		0,6
Filière lait				2	0,3		0,6		0,6
IAA				15,6	3,2		1,6	0,5	1,09
FORETS	557	0	117	62,9	20,3	37,4	3,3	0,0	3,3
Forêt productive non exploitée	491								0
Espaces arborés									
Exploitation forestière	66		116,5						0
Industrie du bois				62,9	16,3	3,2			0
Filière papeterie					4	34,2	3,3		3,3
CONSOMMATION FINALE	0	0	0	0,0	57,8		10,0	3,1	6,9
Déchets du bâtiment									
Déchets des ménages hors déchets verts					33	26	10,0	3,1	7
Déchets des entreprises (DIB)					25	10			0

7.3. Chine

7.3.1. Gisement de la biomasse issue de l'agriculture : productions végétales

7.3.1.1. Méthodologie

La FAO [16] donne les principales informations concernant chaque pays (surfaces et rendements).

Tableau 98 : Caractérisation de la surface agricole de la Chine (Sources : FAO 2000 [16])

		CHINE
Surface agricole	millers d'ha	548 658
Terres arables	millers d'ha	137 127
Cultures permanentes	millers d'ha	11 530
Prairies naturelles	millers d'ha	400 001
Céréales	millers d'ha	85 837
Oléoprotéagineux	millers d'ha	22 915
Cultures fourragères	millers d'ha	2 000
Cultures industrielles	millers d'ha	32 884
Autres (vergers, vignes)	millers d'ha	10 470

Ces surfaces produisent annuellement 942 MTMO (Cf. tableau ci-après).

Tableau 99 : Caractérisation de la production végétale récoltée de la Chine (Sources : FAO 2000 [16])

		CHINE
Prairies naturelles	millions tonnes de MO	324
Céréales	millions tonnes de MO	367
Oléoprotéagineux	millions tonnes de MO	39
Cultures fourragères	millions tonnes de MO	13
Cultures industrielles	millions tonnes de MO	180
Autres (vergers, vignes)	millions tonnes de MO	19
Total	millions tonnes de MO	942

Pour chaque culture, la quantité de résidus récoltables (hors racines et chaumes) est exprimée en pourcentage du rendement (MS). Les pourcentages utilisés sont résumés dans le tableau ci-après.

Tableau 100 : Pourcentages utilisés pour le gisement de résidus récoltables en Chine
(Sources : Issus de FAO [16] et OPET [1])

		CHINE
Riz	% du rendement (MS)	176 %
Blé	% du rendement (MS)	175 %
Autres céréales	% du rendement (MS)	175 %
Maïs grain	% du rendement (MS)	200 %
Manioc	% du rendement (MS)	6 %
Colza	% du rendement (MS)	200 %
Tournesol	% du rendement (MS)	200 %
Sorgho	% du rendement (MS)	125 %
Cotton	% du rendement (MS)	275 %
Soja	% du rendement (MS)	350 %
Tabac	% du rendement (MS)	200 %
Canne à sucre	% du rendement (MS)	30 %
Arachide	% du rendement (MS)	230 %

7.3.1.2. Gisements

Tableau 101 : Gisement de la biomasse issus des résidues de récoltes en Chine

		CHINE
Céréales	MtMO	636
Oléoprotéagineux	MtMO	78
Cultures industrielles	MtMO	37
Total	MtMO	751

7.3.2. Gisement de la biomasse issue de l'agriculture : productions animales

7.3.2.1. Méthodologie

La FAO donne les principales informations concernant chaque pays (animaux présents).

Tableau 102 : Caractérisation du cheptel chinois (animaux présents) (Sources : FAO 2000 [16])

		CHINE
Bovins	millers tête	127 178
Ovins	millers tête	131 095
Caprins	millers tête	148 400
Porcins	millers tête	437 541
Volailles	millers tête	4 440 179
Lapins	millers tête	185 043
Equins	millers tête	8 919
Mules	millers tête	14 021

Pour chacune des catégories ci-dessus, ont été établis, sur la base des données françaises, des ratios de production de lisier. Les ratios de disponibilité (en fonction du temps passé par les animaux hors des bâtiments) sont issus de la recherche bibliographique. L'ensemble des déjections animales produites est exprimé en lisier (la paille n'est pas comptabilisée dans ces données).

Tableau 103 : Ratios production et disponibilité du lisier en Chine
(Sources : Issus de OPET [1] et FAO [2])

		Production	% MS	% MO	Disponibilité (%)
Bovins	Kg MB/jour	37,15	11 %	75 %	60 %
Ovins	Kg MB/jour	3,26	11 %	75 %	60 %
Caprins	Kg MB/jour	3,26	11 %	75 %	60 %
Porcins	Kg MB/jour	4,43	6 %	75 %	100 %
Volailles	Kg MB/jour	0,2	10 %	75 %	60 %
Lapins	Kg MB/jour	0,99	10 %	75 %	100 %
Equins	Kg MB/jour	55	11 %	75 %	60 %
Mules	Kg MB/jour	28	11 %	75 %	60%

7.3.2.2. Gisement

Tableau 104 : Gisement de déjections produites et récupérables en Chine

		Déjections produites	Déjections récupérables
Bovins	MtMO	142	85
Ovins	MtMO	13	8
Caprins	MtMO	15	9
Porcins	MtMO	32	32
Volailles	MtMO	24	15
Lapins	MtMO	5	5
Equins	MtMO	27	16
Total	MtMO	257	169

7.3.3. **Gisement de la biomasse issue de la forêt**

7.3.3.1. Méthodologie

Pour la forêt, les données de la FAO [15] sont incomplètes, des calculs sommaires en italiques dans le tableau ont permis de les estimer :

- Le volume dur pied est déduit du ratio de volume de bois contenu dans les forêts, multiplié par la surface de forêt. De même pour la biomasse ligneuse contenue dans les forêts avec le ratio exprimé en t/ha.
- Le prélèvement est calculé par la somme des combustibles ligneux avec le bois rond industriel.

Tableau 105 : Caractérisation de la forêt et de l'industrie du bois en Chine (Sources : Issus de FAO [15])

		CHINE
Total forêt	milliers d'ha	163 480
Volume de bois contenu dans les forêts	m ³ /ha	52
<i>Volume sur pied</i>	<i>millions de m³</i>	<i>8 501</i>
Biomasse ligneuse contenue dans les forêts	t/ha	61
<i>Biomasse ligneuse contenue dans les forêts</i>	<i>millions de tonne</i>	<i>9 972</i>
Combustibles ligneux	milliers de m ³	193 947
Bois ronds industriels	milliers de m ³	100 918
<i>Prélèvement</i>	<i>milliers de m³</i>	<i>294 865</i>
Sciages	milliers de t	12 500
Production pâte à papier	milliers de tonnes	18 211
Production papiers cartons	milliers de tonnes	32 333

À partir de ces données, les informations suivantes sont estimées et exprimées en Mt MO/an :

- biomasse sur pied,
- accroissement,
- prélèvement dont bois de feu,
- résidus de récoltes.

Les quantités de biomasse exprimées en tonnes sont rapportées en t MO, en supposant qu'une tonne de bois contient 95 % de MO et qu'un m³ correspond à 0,67 t anhydre.

D'après l'OPET, en Chine les résidus de culture sont évalués à 30 % de la récolte de bois ronds soient, en 1995, 20 301 millions de m³ sur 67 669 millions de m³ de bois ronds récoltés. 55 % de ces résidus peuvent être utilisés en industries du bois.

7.3.3.2. Gisements

Tableau 106 : Gisement de la biomasse issus de la forêt chinoise (Sources : Issus des données FAO [15])

Biomasse sur pied	Mt MO	9 474
Prélèvement	Mt MO	1 98
Dont bois feu	Mt MO	1 30
Résidus de récoltes	Mt MO	2 0
Résidus de récoltes technico-éco	Mt MO	1 1

7.3.4. Gisement de la biomasse issue de l'industrie

7.3.4.1. Méthodologie

Deux sources différentes ont été étudiées. La première donne les statistiques de production d'effluents papetiers en tonnes et en charge en DCO et leur importance par rapport au gisement total d'effluents organiques industriels. Le rapport DCO/DBO5 moyen pour les effluent papetier a été pris égal à 4,3, et 1,4 pour les autres effluents organiques (conserveries, abattoirs...).

A partir de ces données, le gisement de matière organique contenue dans les effluents industriels a été estimé.

Une seconde étude a été réalisée sur la quantité d'effluents industriels organiques potentiellement méthanisable.

Les deux sources donne sensiblement le même résultat.

Aucune information n'a été trouvée quant au gisement de déchets solides issus des procédés industriels, excepté pour l'Industrie du bois, où la quantité de bois scié est connue.

Pour l'industrie du bois, le ratio de production de déchets de la France (1,12 Mt MO/Mt produits sciés) et le pourcentage de valorisation (80 %) a été appliqué à la quantité de bois sciés (12,5 Mt/an).

7.3.4.2. Gisement

Tableau 107 : Gisement de matière organique issu des effluents industriels
(Source : Article de Wang Ping 2001 [23])

Stat 1997	Effluents papetiers	Autres effluents	Effluents totaux
Mt	2 700	18 069	20 769
Proportion	13 %	87 %	100 %
Mt DCO	4,07	4,5	8,6
Proportion	48 %	53 %	100 %
Mt MO	2,0	3,6	5,6

Une étude, réalisée en 2002, estime que 19.500 Mm³ d'effluents industriels organiques sont produits chaque année correspondant à 7 Mt DCO et 5,2 Mt DBO, soit 5,8 Mt MO/an. Sur ce total, l'étude estime à 11 % le gisement mobilisable pour la méthanisation, soit 0,7 Mt MO/an.

Le gisement de déchets de l'industrie du bois est de 14 Mt MO/an dont 11,2 Mt MO/an sont valorisés et 2,8 Mt MO/an non valorisés.

7.3.5. Gisement de la biomasse issue des ménages et des entreprises

7.3.5.1. Méthodologie

7.3.5.1.1 Effluents urbains

Le gisement d'eaux usées et de boues urbaines a été établi suivant la méthodologie décrite plus haut et des données disponibles :

- 70 % des effluents urbains sont traités dans près de 400 stations d'épuration en 1999,
- en moyenne, un habitant chinois produit 74 g MO par jour.

7.3.5.1.2 Déchets ménagers et assimilés

Le gisement de matière organique issu des déchets ménagers a été établi à partir des données de production par habitant, par an et par type d'habitat (zone rurale et urbaine) et de la composition de la poubelle.

La Chine compte 1.250 millions d'habitants, dont 30 % habitent en milieu urbain. La production de déchets est de 285 kg/hab/an dans les zones rurales et 400 kg/hab/an en zone urbaine, soit 356 Millions de tonnes de déchets par an.

La poubelle des ménages est composée à 65 % par des déchets biodégradables.

Tableau 108 : Caractéristiques de la poubelle des ménages chinois
(Sources : Issus de "Solide Waste management in China", JP Henderson 1995 [45])

	Proportion	% MS	% MO
Putrecibles	60 %	44 %	77 %
Cartons	3 %	70 %	82 %
Textiles	1,5 %	74 %	92 %
Plastiques	4,5 %	85 %	90 %
Verres	0,8 %	98 %	2 %
Métaux	0,3 %	90 %	1 %
Incombustibles divers	30 %	90 %	1 %
Total biodégradables	65 %		
Total non biodégradables	36 %		

7.3.5.1.3 DIB

D'après l'Agence de Protection de l'environnement chinois (SEPA : www.zhb.gov.cn) et l'Agence de l'Agenda 21 [46], 650 Mt de DIB sont produits chaque année. 51 % d'entre eux sont recyclés.

Le gisement de matière organique contenu dans ces DIB a été estimé à partir de ces données et des caractéristiques moyennes françaises de composition, soit 65 % de MS et 85 % MO et 50 % de déchets biodégradables.

7.3.5.2. Gisement

7.3.5.2.1 Effluents urbains

Tableau 109 : Chaîne de traitement des eaux usées en Chine (Sources : Issus de Technical guideline of wastewater treatment, www.acca21.org.cn) [44] et WuWen Biomass 1982 [43])

Pays	Chine	
Millions habitants	1 250	
kG MO/hab.j	74	
pollution totale émise Mt MO/an	34	
Pollution générée en Mt MO/an	non traitée	traitée
Proportion de pollution traitée	69 %	31 %
Quantité d'effluents	23,33	10,48
Taux d'épuration des step	0%	70 %
Effluent	23	3,1
Retirée (boues + CO2)	0,00	7,3
Boues	0,00	5
CO2 (abattement aérobie)	0,00	1,9
Abattement aérobie		26 %

7.3.5.2.2 Déchets ménagers et assimilés

Tableau 110 : Gisement de matière organique issu des déchets des ménages chinois

	Zones urbaines Mt MO/an	Zones rurales Mt MO/an	Total Mt MO/an
Putrecibles	30	42	72
Cartons	3	4	6
Textiles	2	2	4
Plastiques	5	7	12
Verres	0	0	0
Métaux	0	0	0
Incombustibles divers	0	1	1
Total biodégradables	35	48	82
Total non biodégradables	6	8	13

7.3.5.2.3 DIB

Le gisement de matière organique issu des DIB en Chine s'élèverait à 81 Mt MO/an.

7.3.6. Bilan des valorisations énergétiques existantes

Les données suivantes sont issues de l'état des lieux qui a été réalisé dans la phase 1 de l'étude sur la production de biogaz en Chine et sur les données OPET [1], sur la valorisation de la biomasse.

Tableau 111 : Production et destination des résidus de culture et consommation de bois de feu
(Sources : Issus de OPET [1])

	Mt MO/an
Résidus de cultures	750
Alimentation animale	188
Industrie	68
Fertilisation sur champ	113
Paille combustible des ménages	238
Brûlage ou laissé sur champ	145
Valorisation énergétique des résidus	238
Valorisation matière des résidus de culture	255
Résidus de culture non valorisés	258
Bois de feu	130

Les données énergétiques ont été transcrites en Mt MO à partir des ratios de productions de déchets (Chapitre "Détermination du gisement énergétique accessible").

Tableau 112 : Type de valorisation des déchets et de la biomasse en Chine
(Sources : OPET [1] et SOLAGRO - 1^{ère} partie de l'étude)

Valorisation énergétique	Mt MO/an
Incinération déchets municipaux	0,2
Biomasse valorisée en énergie	384,9
Biogaz et gaz de décharge	16,4
Déjections animales	5,8
Industries	1,6
STEP	9
Déchets	0
Décharges	0

Tableau 113 : Production de biomasse, déchets et sous-produits en Chine, en Mt MO/an

En Mt MO/an	Biomasse non récoltée	Biomasse récoltée non valorisée	Biomasse brute valorisée en énergie	Sous-produits valorisés en matière	Déchets non valorisés	Déchets valorisés en énergie	Effluents totaux produits	Effluents valorisés en énergie	Effluents non valorisés
TOTAL	349	169	392	266	166	0	39,6	9,0	30,6
AGRICULTURE ET IAA	329,1	169,0	262,3	255,0	0,0	0,0	3,6	0,0	3,6
Prairies permanentes									
Déjections d'élevage	88	169	5,8						0
Résidus de culture	241		255	255					0
Abattoirs							3,6		3,6
Filière lait									0
IAA			1,6						0
FORETS	20	0	130	11,2	2,8	0,0	2,0	0,0	2,0
Forêt productive non exploitée									0
Espaces arborés									
Exploitation forestière	20		130						0
Industrie du bois				11,2	2,8				0
Filière papeterie							2,0		2
CONSOMMATION FINALE	0	0	0	0,0	162,8	0,2	34,0	9,0	25,0
Déchets du bâtiment									
Déchets des ménages hors déchets verts					81,76	0,24	34,0	9	25
Déchets des entreprises (DIB)					81				0

7.4. Inde

7.4.1. Gisement de la biomasse issue de l'agriculture : productions végétales

7.4.1.1. Méthodologie

La FAO [14] et [16] donne les principales informations concernant chaque pays (surfaces et rendements).

Tableau 114 : Caractérisation de la surface agricole de l'Inde (Sources : FAO 2000 [16] et [14])

		INDE
Surface agricole	millers d'ha	180 610
Terres arables	millers d'ha	161 730
Cultures permanentes	millers d'ha	7 970
Prairies naturelles	millers d'ha	10 910
Céréales	millers d'ha	104 122
Oléoprotéagineux	millers d'ha	20 454
Cultures fourragères	millers d'ha	8 600
Cultures industrielles	millers d'ha	45 826
Autres (vergers, vignes)	millers d'ha	26 069

Ces surfaces produisent annuellement 453 MTMO (Cf. tableau ci-après).

Tableau 115 : Caractérisation de la production végétale récoltée en Inde (Sources : FAO 2000 [16] et [14])

		INDE
Prairies naturelles	millions tonnes de MO	9
Céréales	millions tonnes de MO	216
Oléoprotéagineux	millions tonnes de MO	17
Cultures fourragères	millions tonnes de MO	23
Cultures industrielles	millions tonnes de MO	135
Autres (vergers, vignes)	millions tonnes de MO	53
Total	millions tonnes de MO	453

Pour chaque culture, la quantité de résidus récoltables (hors racines et chaumes) est exprimée en pourcentage du rendement (MS). Les pourcentages utilisés sont résumés dans le tableau ci-après.

Tableau 116 : Pourcentages utilisés pour le gisement de résidus récoltables en Inde
(Sources : Issus de FAO 2000 [16] et [14])

		INDE
Riz	% du rendement (MS)	176 %
Blé	% du rendement (MS)	175 %
Autres céréales	% du rendement (MS)	175 %
Maïs grain	% du rendement (MS)	200 %
Manioc	% du rendement (MS)	6 %
Colza	% du rendement (MS)	200 %
Tournesol	% du rendement (MS)	200 %
Sorgho	% du rendement (MS)	125 %
Cotton	% du rendement (MS)	275 %
Soja	% du rendement (MS)	350 %
Tabac	% du rendement (MS)	200 %
Canne à sucre	% du rendement (MS)	30 %
Arachide	% du rendement (MS)	230 %

7.4.1.2. Gisements

Tableau 117 : Gisement de la biomasse issus des résidues de récoltes en Inde

		INDE
Céréales	MtMO	361
Oléoprotéagineux	MtMO	27
Cultures industrielles	MtMO	16
Total	MtMO	404

7.4.2. Gisement de la biomasse issue de l'agriculture : productions animales

7.4.2.1. Méthodologie

La FAO donne les principales informations concernant chaque pays (animaux présents).

Tableau 118 : Caractérisation du cheptel indien (animaux présents) (Sources : Issus de FAO 2000 [16] et [14])

		INDE
Bovins	millers tête	312 572
Ovins	millers tête	57 900
Caprins	millers tête	123 000
Porcins	millers tête	17 000
Volailles	millers tête	717 500
Equins (y.c. chameaux)	millers tête	1 700
Mules	millers tête	1 050

Pour chacune des catégories ci-dessus ont été établis, sur la base des données françaises, des ratios de production de lisier. Les ratios de disponibilité (en fonction du temps passé par les animaux hors des bâtiments) sont issus de la recherche bibliographique. L'ensemble des déjections animales produites est exprimé en lisier (la paille n'est pas comptabilisée dans ces données).

Tableau 119 : Ratios production et disponibilité du lisier en Inde (Sources : Issus de FAO [14] et [16])

		Production	% MS	% MO	Disponibilité (%)
Bovins	Kg MB/jour	37,15	11 %	75 %	60 %
Ovins	Kg MB/jour	3,26	11 %	75 %	60 %
Caprins	Kg MB/jour	3,26	11 %	75 %	60 %
Porcins	Kg MB/jour	4,43	6 %	75 %	100 %
Volailles	Kg MB/jour	0,2	10 %	75 %	60 %
Lapins	Kg MB/jour	0,99	10 %	75 %	100 %
Equins	Kg MB/jour	55	11 %	75 %	60 %
Mules	Kg MB/jour	28	11 %	75 %	60 %

7.4.2.2. Gisement

Tableau 120 : Gisement de déjections produites et récupérables en Inde

		Déjections produites	Déjections récupérables
Bovins	MtMO	350	210
Ovins	MtMO	6	3
Caprins	MtMO	12	7
Porcins	MtMO	1	1
Volailles	MtMO	3	2
Equins	MtMO	3	2
Total	MtMO	376	226

7.4.3. **Gisement de la biomasse issue de la forêt**

7.4.3.1. Méthodologie

Pour la forêt, les données de la FAO [15] sont incomplètes, des calculs sommaires en italiques dans le tableau ont permis de les estimer :

- Le volume du pied est déduit du ratio de volume de bois contenu dans les forêts, multiplié par la surface de forêt. De même pour la biomasse ligneuse contenue dans les forêts avec le ratio exprimé en t/ha.
- Le prélèvement est calculé par la somme des combustibles ligneux avec le bois rond industriel.

Tableau 121 : Caractérisation de la forêt et de l'industrie du bois en Inde (Sources : Issus de FAO [15])

		INDE
Total forêt	milliers d'ha	64 113
Volume de bois contenu dans les forêts	m ³ /ha	43
<i>Volume sur pied</i>	<i>millions de m³</i>	<i>2 757</i>
Biomasse ligneuse contenue dans les forêts	t/ha	73
<i>Biomasse ligneuse contenue dans les forêts</i>	<i>millions de tonne</i>	<i>4 680</i>
Combustibles ligneux	milliers de m ³	274 334
Bois ronds industriels	milliers de m ³	25 156
<i>Prélèvement</i>	<i>milliers de m³</i>	<i>299 490</i>
Sciages	milliers de t	11 700
Production pâte à papier	milliers de tonnes	2 323
Production papiers cartons	milliers de tonnes	3 285

À partir de ces données, les informations suivantes sont estimées et exprimées en Mt MO/an :

- biomasse sur pied,
- accroissement,
- prélèvement dont bois de feu,
- résidus de récoltes.

Les quantités de biomasse exprimées en tonnes sont rapportées en t MO, en supposant qu'une tonne de bois contient 95 % de MO et qu'un m³ correspond à 0,67 t anhydre.

Les données chinoise ont été utilisé pour l'Inde pour l'estimation des résidus de culture, évalués à 30 % de la récolte de bois ronds. 55 % de ces résidus peuvent être utilisés en industries du bois.

7.4.3.2. Gisements

Tableau 122 : Gisement de la biomasse issus de la forêt indienne

Biomasse sur pied	Mt MO	4 446
Prélèvement	Mt MO	201
Dont bois feu	Mt MO	184
Résidus de récoltes	Mt MO	5
Résidus de récoltes technico-éco	Mt MO	3

7.4.4. Gisement de la biomasse issue de l'industrie

7.4.4.1. Méthodologie

Le gisement de matière organique issu des industries a été calculé à partir des données prospectives de production de biogaz issues du « Plan pour le développement de la production d'énergie à partir de déchets ». Les informations fournies en MW installés ont été traduites en Mt MO/an. (Ministère indien des Énergies Non Conventionnelles, [38]).

Pour l'industrie du bois, les données disponibles, quantité de bois sciés (11,7 Mt/an), permettent d'évaluer la quantité de déchets à partir des ratios calculés pour la France (1,12 Mt MO/Mt bois sciés et 80 % de valorisation).

7.4.4.2. Gisement

Tableau 123 : Gisement de matière organique issue des déchets et effluents industriels
(Sources : Issus de www.indiawteplan.com, [38])

Activité	Nbre unités	Effluents liquides		Déchets solides	
		MW	Mt MO	MW	Mt MO
Laiterie	342	53	0,1	-	0,0
Distilleries	267	786	2,1	-	0,0
Amidonneries de maïs	10	16	0,0	55	0,1
Papeteries	45	90	0,2	-	0,0
Elevage de volailles	3 786	-	0,0	102	0,3
Sucrieries	431	92	0,2	474	1,3
Amidonneries de tapioca		17	0,0	5	0,0
Tanneries	3 000	5	0,0	-	0,0
Abattoirs	3 600	75	0,2	-	0,0
TOTAL	11 481	1 135	3,0	636	1,7

Le gisement de déchets de l'industrie du bois est de 13,1 Mt MO/an dont 10,5 Mt MO/an sont valorisés et 2,6 Mt MO/an non valorisés.

7.4.5. Gisement de la biomasse issue des ménages et des entreprises

7.4.5.1. Méthodologie

7.4.5.1.1 Effluents urbains

Le gisement d'eaux usées et de boues urbaines a été établi suivant la méthodologie décrite plus haut et des données disponibles :

- 28 % des effluents urbains sont traités en stations d'épuration,
- en moyenne, un habitant indien produit 74 g MO par jour.

7.4.5.1.2 Déchets ménagers et assimilés

Le gisement de matière organique issu des déchets ménagers a été établi à partir des données de production par habitant, par an et de la composition de la poubelle.

L'Inde compte 980 Millions d'habitants, dont 30 % habitent en milieu urbain, soit 294 Millions d'habitants. La production de déchets est de 183 kg/hab/an en zone urbaine. En zone rurale, aucune information n'est donnée.

Tableau 124 : Caractérisation des déchets ménagers en Inde
(Sources : Ministère indien des statistiques issus de www.mospi.nic.in, [57])

Composés	Proportion	% MS	% MO
Putrecibles	47 %	44 %	77 %
Papiers	5 %	68 %	80 %
Cartons	2 %	70 %	82 %
Plastiques	3 %	85 %	90 %
Combustibles divers	5 %	85 %	75 %
Verres	2 %	98 %	2 %
Métaux	2 %	90 %	1 %
Incombustibles divers	34 %	90 %	1 %

7.4.5.1.3 DIB

Aucune donnée n'a été trouvée sur la production de DIB en Inde.

7.4.5.2. Gisement

7.4.5.2.1 Effluents urbains

Tableau 125 : Chaîne de traitement des eaux usées en Inde
(Sources : Issus des statistiques UNICEF, 2001, [56])

Pays	Inde	
Millions habitants	980	
kG MO/hab.j	74	
Pollution totale émise Mt MO/an	27	
Pollution générée en Mt MO/an	non traitée	traitée
Proportion de pollution traitée	72 %	28 %
Quantité d'effluents	19,08	7,42
Taux d'épuration des step	0 %	70 %
Effluent	19	2,2
Retirée (boues + CO ₂)	0,00	5,2
Boues	0,00	4
CO ₂ (abattement aérobie)	0,00	1,3
Abattement aérobie		26 %

7.4.5.2.2 Déchets ménagers et assimilés

La production de déchets dans les villes indiennes est de 54 Mt/an, dont 54 % sont biodégradables, soit 11 Mt MO/an.

Tableau 126 : Gisement de matière organique issue des déchets ménagers produits dans les villes indiennes

Composés	Mt MO/an
Putrescibles	9
Papiers	1
Cartons	1
Plastiques	1
Combustibles divers	2
Verres	0
Métaux	0
Incombustibles divers	0
Total biodégradables	11
Total non biodégradables	3

7.4.6. Bilan des valorisations énergétiques existantes

Les données suivantes sont issues de l'état des lieux qui a été réalisé dans la phase 1 de l'étude sur la production de biogaz en Inde et sur les statistiques indiennes de 1989 sur la valorisation de la biomasse [58].

Tableau 127: Production et destination des résidus de culture et consommation de bois de feu (Sources : données FAO 1989 [58])

	Mt MO/an
Bois de feu	184
Alimentation	242
Rémanents de culture non valorisés	104
Résidus de culture valorisés en énergie	58

Les données énergétiques ont été transcrites en Mt MO à partir des ratios de productions de déchets (Chapitre "Détermination du gisement énergétique accessible").

Tableau 128 : Type de valorisation des déchets et de la biomasse en Inde

Valorisation énergétique	Mt MO/an
Incinération déchets municipaux	0
Biomasse valorisée en énergie	242
Biogaz et gaz de décharge	6
Déjections animales	3
Industries	2
STEP	0
Déchets	0
Décharges	0

Tableau 129 : Production de biomasse, déchets et sous-produits en Inde, en Mt MO/an

En Mt MO/an	Biomasse non récoltée	Biomasse récoltée non valorisée	Biomasse brute valorisée en énergie	Sous-produits valorisés en matière	Déchets non valorisés	Déchets valorisés en énergie	Effluents totaux produits	Effluents valorisés en énergie	Effluents non valorisés
TOTAL	259	226	247	252	15	0	29,9	0,0	29,9
AGRICULTURE ET IAA	254,4	226,0	63,5	241,8	1,7	0,0	2,7	0,0	2,7
Prairies permanentes									
Déjections d'élevage	150	226	3,3						0
Résidus de culture	104		58	242					0
Abattoirs					0,0		0,2		0,2
Filière lait					0,0		0,1		0,1
IAA			2,3		1,7		2,4		2,4
FORETS	5	0	184	10,5	2,6	0,0	0,2	0,0	0,2
Forêt productive non exploitée									0
Espaces arborés									
Exploitation forestière	5		184						0
Industrie du bois				10,5	2,6				0
Filière papeterie							0,2		0,2
CONSOMMATION FINALE				0,0	11,0	0,0	27,0	0,0	27,0
Déchets du bâtiment									
Déchets des ménages hors déchets verts					11	0	27,0	0	27
Déchets des entreprises (DIB)									0

8. Émissions des gaz fatals (COVNM)

8.1. En France

8.1.1. Les émissions

On considère ici les « gaz fatals » à contenu énergétique émis en France dans l'atmosphère : CH₄ et COVNM.

Les données sont issues du CITEPA : « Inventaire des émissions de gaz à effet de serre en France au titre de la convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique », Décembre 2002⁶ [20].

Les émissions de méthane s'élèvent à 3.100 kt, et celles de COVNM à 3.000 kt, soit 6.100 kt de COV, méthane compris.

Une grande partie de ces émissions sont diffuses : secteur de transport, de l'habitat, émissions par les sols agricoles et forestiers et rizières, fermentations entériques...

Une première analyse sommaire permet, par élimination, de préciser les émissions « localisées », au sens large : émissions des activités liées aux combustibles (mines, raffinage, transport gaz naturel), aux procédés industriels, à l'utilisation et la fabrication des solvants, à la gestion des déjections d'élevage et des déchets.

Tableau 130 : Emissions en kt de CH₄ et COVNM en 2001 (Sources : CITEPA 2003, [20])

Gg (kt)	CH ₄	COVNM	Total
Emissions diffuses	1666	2208	3 874
Emissions localisées	1415	794	2 210
	3082	3002	6084

Les émissions localisées, donc éventuellement récupérables, représentent **2.200 kt**, soit le tiers des émissions totales : **1.400 kt pour le méthane** (un peu moins de la moitié) et **800 kt pour les COVNM** (le quart des émissions).

⁶ http://www.citepa.org/emissions/france_objectifs/Unfccc_France_dec2002.pdf

Tableau 131 : Emissions détaillées de CH₄ et COVNM en 2001 (Sources : CITEPA 2003, [20])

Émissions en Gg (milliers de tonnes), 2001	CH₄	COVNM	Total	Nature
TOTAL	3 082	3 002	6 084	
1. Energie	353	900	1 253	
1A Consommation de combustibles	182	817	999	
dont transports	26	489	515	Diffus
dont résidentiel	139	219	358	Diffus
dont agriculture forêt	1	88		Diffus
dont autres	16	21	37	Localisé
1B Emissions fugitives de combustibles	171	83	254	
dont mines	80		80	Localisé
dont pétrole		80	80	Localisé
dont gaz naturel	90			Localisé
dont autres	1	3	4	Localisé
2. Procédés industriels	2	86	88	-
2 Procédés industriels	2	86	88	Localisé
3. Utilisation de solvants et autres produits	0	588	588	-
3A Peintures		283	283	Localisé
3B Dégraissage et nettoyage à sec		34	34	Localisé
3C Fabrication produits chimiques		58	58	Localisé
3D Autres solvants		213	213	Localisé
4. Agriculture	2 088	138	2 226	-
4A Fermentation entérique	1396		1 396	Diffus
4B Gestion des déjections animales	683		683	Localisé
4C Rizières	9		9	Diffus
4D Sols agricoles		138	138	Diffus
5. Changement d'utilisation des sols et sylviculture	96	1 274	1 370	-
5B Conversion des forêts et prairies	9		9	Diffus
5E Autres sols et sylv.	87	1274	1 361	Diffus
6. Déchets	543	16	559	-
6A Décharges	479	5	484	Localisé
6B Traitement des eaux	55	3	58	Localisé
6C Incinération des déchets	9	9	18	Localisé

8.1.2. Les enjeux

Il est possible de préciser les enjeux, en appliquant de façon uniforme une hypothèse de 50 % de récupération possible sur ces émissions localisées.

Selon cette approche, en ordre de grandeur le potentiel récupérable est de **1.100 kt**, les principaux postes étant les suivants :

- La **gestion des déjections animales** : 342 kt de CH₄,
- La gestion des déchets : 280 kt, essentiellement par une meilleure récupération du **gaz de décharge** (240 kt de CH₄).

L'utilisation et la fabrication des solvants : 290 kt de COVNM, dont la moitié pour les solvants utilisés pour les **peintures**, et une autre moitié pour le poste « **autres solvants** ».

Le secteur « énergie » présente un potentiel de récupération de l'ordre de 146 kt, dont 40 kt par récupération de **gaz de mines**, 45 kt par diminution des émissions fugitives de **gaz naturel**, 40 kt par diminution des COVNM en **raffineries**.

Tableau 132 : Enjeux de récupération du CH₄ et des COVNM en 2001

Enjeux récupération en Gg (milliers de tonnes), 2001	CH ₄	COVNM	Total	Nature
TOTAL	708	397	1 105	
1. Energie	94	52	146	
1A Consommation de combustibles	8	11	19	
dont autres	8	11	19	Localisé
1B Emissions fugitives de combustibles	86	42	127	
dont mines	40	0	40	Localisé
dont pétrole	0	40	40	Localisé
dont gaz naturel	45	0	45	Localisé
dont autres	1	2	2	Localisé
2. Procédés industriels	1	43	44	-
2 Procédés industriels	1	43	44	Localisé
3. Utilisation de solvants et autres produits	0	294	294	-
3A Peintures	0	142	142	Localisé
3B Dégraissage et nettoyage à sec	0	17	17	Localisé
3C Fabrication produits chimiques	0	29	29	Localisé
3D Autres solvants	0	107	107	Localisé
4. Agriculture	342	0	342	-
4B Gestion des déjections animales	342	0	342	Localisé
6. Déchets	272	8	280	-
6A Décharges	240	2	242	Localisé
6B Traitement des eaux	28	1	29	Localisé
6C Incinération des déchets	5	5	9	Localisé

8.1.3. Diagrammes des productions et émissions de méthane

Le tableau ci-dessous indique les flux de méthane en précisant :

- les émissions à l'atmosphère estimées par le CITEPA,
- la production de gaz de décharge estimée par le CITEPA,
- les productions de biogaz estimées par SOLAGRO et non comptabilisées par le CITEPA,
- les quantités de biogaz valorisées, estimations SOLAGRO.

Tableau 133 : Production et émissions de méthane en kt/an

	Production totale	Emissions	Collecte	Production en digesteurs (non compté citepa)	dont valorisation
TOTAL	4 196	3 082	458	99	142
1. Energie	353	353	0	0	0
A Consommation de combustibles	182	182			
B Emissions fugitives de combustibles	171	171			
2. Procédés industriels	2	2			
4. Agriculture	2 088	2 088	0	0	0
A Fermentation entérique	1 396	1396			
B Gestion des déjections animales	683	683			
C Rizières	9	9			
5. Changement d'utilisation des sols et sylviculture	96	96			
6. Déchets	1 100	543	458	99	142
A Décharges	937	479	458		69
B Traitement des eaux	150	55		95	69
C Incinération des déchets	9	9			
Méthanisation des déchets	4			4	4

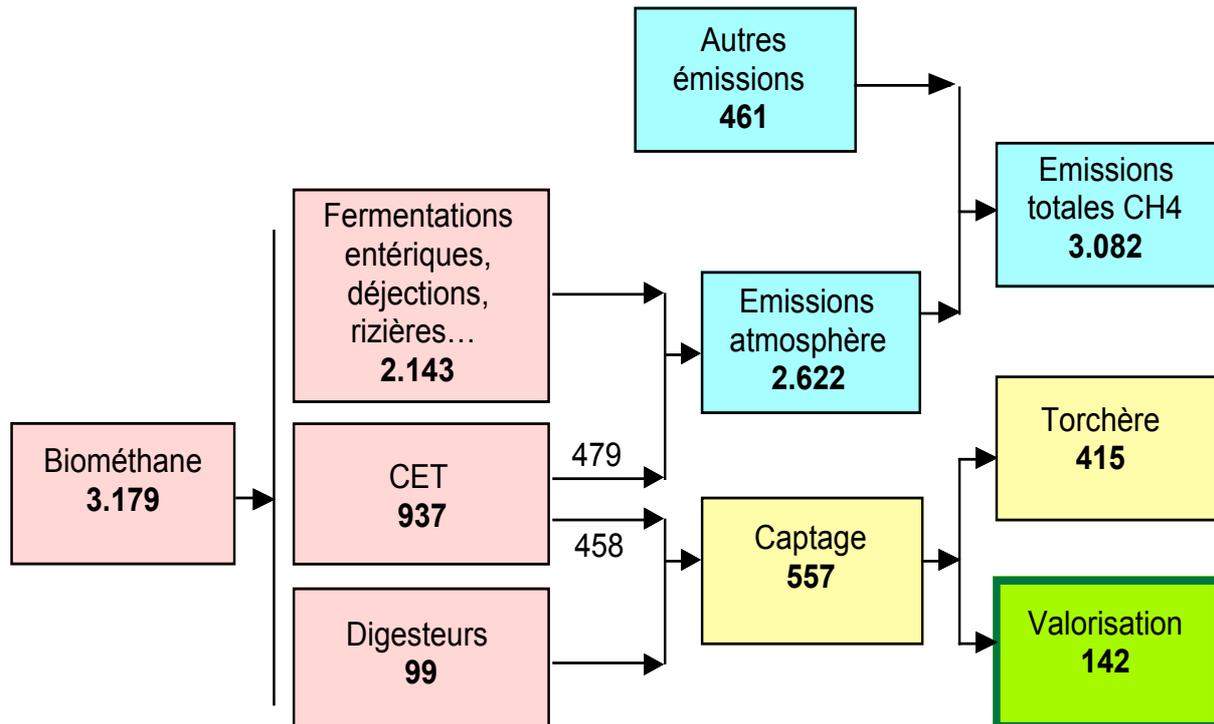
Sur une production totale de 4.200 kt, les émissions représentent 3.100 kt (y compris 355 kt de méthane d'origine fossile dans le secteur de la production et la consommation d'énergie).

Le biogaz collecté représente 560 kt, dont 460 kt de gaz de décharge (estimations CITEPA) et 99 kt de biogaz produit en digesteur (estimations SOLAGRO).

Sur ce total, 142 kt sont valorisées, soit 168 ktep, et 410 kt sont brûlées en torchère, ce qui représente un gisement énergétique de 491 k tep supplémentaires.

Sur 458 kt de méthane collecté sur les centres de stockage de déchets, seuls 69 kt sont actuellement valorisés. Le gisement exploitable représente 390 kt, soit 470 ktep.

Figure 6 : Productions et émissions de méthane en kt/an



8.1.4. Récapitulatif

La collecte et la valorisation des COV, y compris méthane, actuellement émis vers l'atmosphère, représentent un enjeu de l'ordre de **1.100 kt**.

Le Pci des COVNM étant un peu plus faible que celui du méthane, l'enjeu en terme énergétique est de l'ordre de **1.000 ktep**.

8.1.4.1. Les déjections d'élevage

Le principal potentiel de récupération porte sur la gestion des déjections d'élevage. Deux stratégies sont possibles :

La réduction des émissions, par aération ou compostage de déjections, avec cependant un risque accru d'émissions de N₂O, et des consommations importantes d'énergie.

La méthanisation des déjections, ce qui se traduit par la récupération non seulement des émissions actuelles de méthane (et une diminution des émissions de N₂O), mais de l'ensemble du potentiel méthanogène des déjections.

8.1.4.2. Le gaz de décharge

La valorisation du gaz de décharge actuellement collecté mais brûlé en torchère, représente un enjeu de l'ordre de **470 ktep**.

Le gaz de décharge non collecté et émis à l'atmosphère, représente 479 ktep.

La valorisation et la collecte de ce gaz est conditionnée par la faisabilité technico-économique. La valorisation constitue un facteur motivant l'amélioration des taux de captage du gaz sur les sites où elle est pratiquée. On constate souvent, lors de la mise en place des projets de valorisation, parfois dès le stade des études préliminaires, une augmentation des quantités de méthane collectées : afin de fiabiliser le projet de valorisation, l'exploitant est en effet incité à améliorer le système de dégazage pour obtenir un gaz de qualité stable, ce qui se traduit par une augmentation du taux de collecte.

L'enfouissement non contrôlé est responsable de 122 kt de CH₄ selon le CITEPA. 816 kt sont produites sur les CET contrôlés, dont 48 % est capté et non valorisé, et 8 % est capté et valorisé.

Tableau 134 : Production de méthane des CET contrôlés en 2001

	2001	kt	ktep	Gwhe
Production des CET contrôlés		816	979	3754
dont émissions		358	429	1647
dont captage		458	550	2107
dont non valorisé		389	466	1788
dont valorisation		69	83	319

Au rythme actuel d'équipement, les quantités valorisées devraient doubler dans les prochaines années, pour atteindre 170 kt (environ 800 GWhe). En supposant que les émissions puissent être réduites de 25 % (tendance actuelle à l'amélioration du captage), et que la production se maintienne au niveau actuel, les quantités captées atteindraient environ 550 kt, soit un gain de 100 kt.

Tableau 135 : Production de méthane des CET contrôlés en 2007, réduction de 25 % des émissions

	2007	kt	ktep	Gwhe
Production des CET contrôlés		816	979	3754
dont émissions - 25 %		268	322	1235
dont captage		547	657	2519
dont non valorisé		374	449	1722
dont valorisation		173	208	797

La part du potentiel valorisable dépend actuellement principalement de la taille du site et du tarif d'achat de l'électricité. Au tarif actuel, on peut estimer que le potentiel économique sera exploité d'ici 2007. Avec un tarif similaire à d'autres tarifs en Europe (EEG en Allemagne, tarifs autrichiens) de l'ordre de 70 €/MWh, le potentiel accessible supplémentaire est d'environ 1.000 GWh, soit la moitié environ de la quantité captée non valorisée estimée ici pour l'année 2007. Ceci peut se traduire par une amélioration plus importante du taux de captage : le tableau ci-dessous indique le résultat en tenant compte d'une diminution des émissions de 50 %.

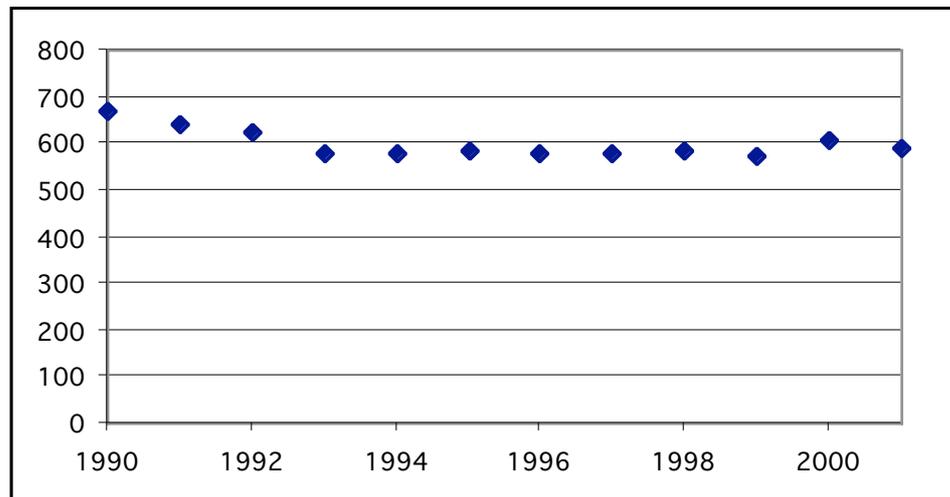
Tableau 136 : Production de méthane des CET contrôlés en 2007, réduction de 50 % des émissions

	2007	kt	ktep	Gwhe
Production des CET contrôlés		816	979	3754
dont émissions - 50 %		179	215	823
dont captage		637	764	2931
dont non valorisé		238	286	1097
dont valorisation		398	478	1833

8.1.4.3. Les solvants

Les émissions de solvants ont diminué au début des années 1990, passant de 670 kt à 580 kt. Depuis 1993, les émissions restent stabilisées à ce niveau.

Figure 7: Émissions de COVNM issues des solvants



8.1.4.4. Les autres émissions

Les autres émissions concernent essentiellement le secteur de l'énergie. Elles n'entrent pas dans le cadre de la présente étude.

8.2. En Europe, USA, Chine et Inde

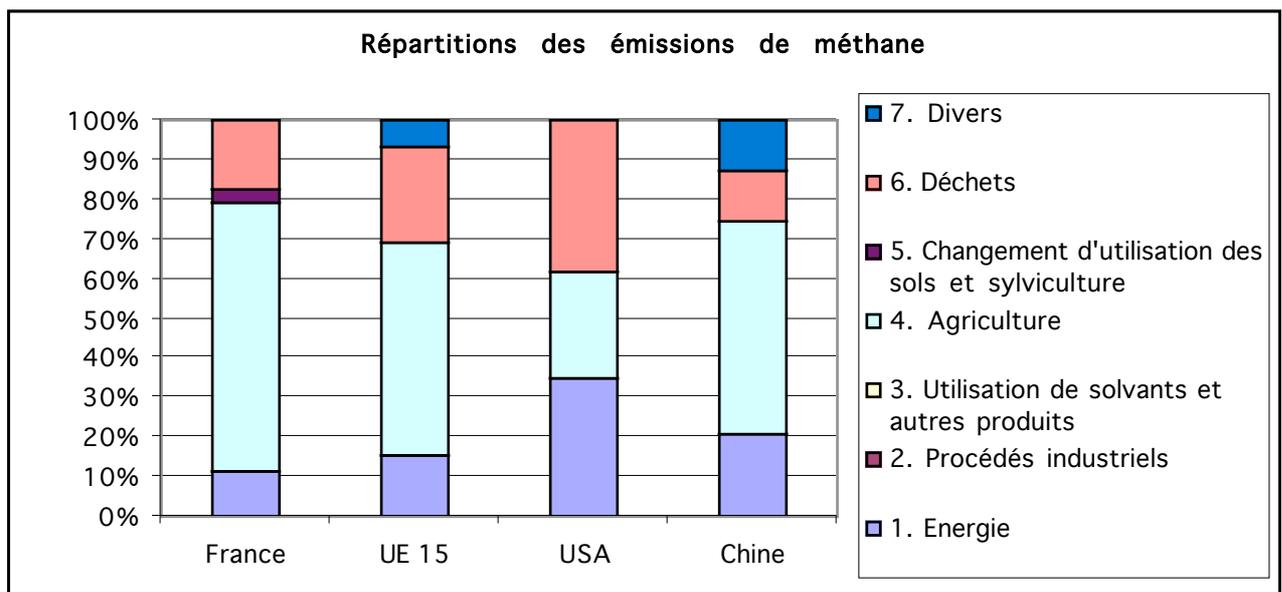
8.2.1. Les émissions

Pour les USA et l'Europe, les données sont issues des inventaires réalisés par les Agences de l'Environnement américaines (EPA) et européenne (EEA) sur les émissions de gaz à effet de serre. Pour la Chine, les données les plus récentes sont issues d'articles d'un groupe de travail américain (David Street, Argonne National Laboratory). Pour l'Inde, les données issues de ce même auteur sont moins détaillées. Toutefois, pour tous les pays, les émissions totales sont estimées en Gg par pour le méthane et les COVNM.

Tableau 137 : Emissions de COVNM et méthane en Europe, aux USA, en Chine et en Inde
(Sources : Inventaires nationaux des émissions de gaz à effet de serre, [18], [19], [22])

En Gg par an	UE 15	USA	Chine	Inde
Méthane	15 695	28 851	38 360	32 850
COVNM	12 458	15 148	17 713	10 840

Figure 8 : Répartitions des émissions de méthane en France, en Europe, aux USA et en Chine
(Sources : Issus de [18], [19], [22])



8.2.2. Les enjeux

La même hypothèse que pour la France de 50% de récupération possible sur les émissions localisées est prise.

La répartition des émissions diffuses et localisées de COVNM a été reconstituée à partir des données françaises pour l'Europe et les USA.

Pour l'Inde, la répartition des émissions diffuses et localisées de COVNM et de méthane a été reconstituée à partir des données complètes de la Chine.

Tableau 138 : Enjeux de récupération des gaz fatals en Europe, aux USA, en Chine et en Inde en 2001 (Sources : Issus de [18], [19], [22])

Pays	kt /an	% méthane	% COVNM
UE 15	5 593	75%	25%
USA	13 218	85%	15%
Chine	8 864	73%	27%
Inde	7 013	79%	21%

8.3. Enjeux énergétiques des gaz fatals

8.3.1. Méthane

Le “méthane fatal localisé” provient principalement des décharges, du secteur de l'énergie et des déjections animales stockées et épandues.

En France l'enjeu énergétique est de l'ordre 850 ktep/an, dont 470 ktep/an pour le méthane récupéré sur les décharges et 380 ktep/an pour le autre secteurs, principalement en agriculture sur le stockage des déjections animales.

8.3.2. COVNM

Les COVNM regroupent plusieurs familles de composés. Le pouvoir calorifique dépend de leur composition qui varient avec les secteurs d'émissions. Le CITEPA [21] donne la répartition des émissions de COVNM sur 23 familles de composés pour les principaux secteurs engendrant des émissions. Il est précisé qu'en l'état actuel des connaissances, la spéciation des COVNM n'est pas disponible pour toute les activités.

Les deux secteurs principaux producteurs de COVNM sont celui de l'Energie et de l'Industrie. Les composés principaux sont les alcanes, les alcènes, les alcools, les composés aromatiques et les cétones.

Tableau 139 : Spéciation des COVNM par seteur (Sources : Issus du CITEPA, [21])

Familles de composés	Secteur Energie	Secteur Industrie
Alcanes	85%	26,5%
Alcènes	9,1%	-
Alcools	-	24,8%
Aromatiques	3,6%	14,2%
Cétones	-	8,8%

Un PCI moyen a été estimé pour chaque secteur, en fonction de la composition. Pour le secteur Energie, le PCI est légèrement plus faible que celui du méthane, de l'ordre de 46.000 kJ/kg. En revanche pour le secteur Industrie, il est quasiment divisé par deux, de l'ordre de 28.000 kJ/kg. Le secteur Industrie représente 42% à 80% des émissions selon les pays.

8.3.3. Gaz fatals totaux

La récupération de 50 % des émissions des gaz fatals localisées permettrait la production de plus de 1 Mtep/an en France, de 6 Mtep/an en Europe, de près de 15 Mtep/an aux USA, de plus de 9 Mtep/an en Chine et près de 8 Mtep/an en Inde.

Tableau 140 : Enjeux énergétiques de la récupération des gaz fatals en ktep en France, Europe, USA, Chine et Inde

ktep/an	CH4	COVNM	Total Gaz fatals
France	900	300	1 200
Europe	5 100	900	6 000
USA	13 500	1200	14 700
Chine	7 800	1500	9 300
Inde	6 700	900	7 600

Gg (Mt) /an	France	UE	USA	Chine	Inde	4 régions
TOTAL COV	6,1	28,2	44	56,1	43,6	171,9
CH4	3,1	15,7	28,9	38,4	32,8	115,8
COVNM	3,0	12,5	15,1	17,7	10,8	56,1
récupérable	1,1	5,6	13,2	8,9	7	34,7
CH4	0,7	4,2	11,2	6,5	5,5	27,4
COV	0,4	1,4	2,0	2,4	1,5	7,3

9. Détermination du gisement énergétique accessible

L'application des différents filtres et hypothèses proposés ci-dessous pour les différents pays permet d'obtenir le gisement énergétique maximum accessible.

9.1. Détermination du gisement maximum accessible

Au gisement théorique total, pour chaque pays, ont été appliqués deux premiers filtres éliminant la matière organique non récupérable et celle déjà valorisée :

Filtre 1 : Non accessibilité

- Prairies permanentes,
- Déjections d'élevage émises aux champs.

Filtre 2 : Valorisation matière ou énergétique existante

- Déchets ménagers et DIB recyclés ;
- Sous-produits industriels utilisés comme matière première ou énergétique dans d'autres filières industrielles ou en alimentation animale ;
- Bois de feu et biomasse valorisée en énergie.

Le gisement restant est accessible à la production d'énergie par méthanisation ou traitement thermique (Incinération, gazéification...). Le choix du mode de valorisation a été effectué en fonction d'une part des ratios de production d'énergie (PCI et PCH4) et des différents paramètres des filières de production.

9.2. Détermination du gisement énergétique

9.2.1. Conversion matière organique <-> énergie

Le potentiel énergétique de la matière organique varie selon le type de substrat entre 14 MJ/kg (glucides) à 30 MJ/kg (lipides). En moyenne il est d'environ **19 MJ/kg**, soit 456 ktep/ Mt de Matière Organique et correspond au Potentiel Calorifique Intrinsèque (PC Intr.), c'est-à-dire la quantité maximale d'énergie récupérable avec de la matière organique.

Le pouvoir calorifique inférieur du produit brut tient compte de la teneur en matière organique, et de la teneur en eau (consommation correspondant à la chaleur latente de vaporisation de l'eau : 2,3 MJ/kg).

$$PCib = PCio \cdot m \cdot (1-w) - 2,3 \cdot w$$

Avec :

- PCio = pouvoir calorifique inférieur de la matière organique, en MJ/kg
- PCib = pouvoir calorifique inférieur du produit brut, en MJ/kg
- w = teneur en eau sur matière brute, en % sur brut
- m = teneur en matière organique sur la matière sèche, en % sur MS
- ms = teneur en matière sèche du produit brut, en % sur brut
- mo = teneur en matière organique du produit brut : $mo = m \cdot (1-w) = m \cdot ms$, en % sur brut

Il est possible de calculer le PCio : pouvoir calorifique inférieur du produit brut, exprimé par quantité de matière organique.

$$PCib = PCio \times mo \text{ soit : } PCio = PCib / [m \cdot (1-w)]$$

$$PCio = (PCo \cdot m \cdot (1-w) - 2,3 \times w) / m$$

$$PCi^{\circ} = PCs^{\circ} - 2,3 \cdot w / [(1-w) \cdot m]$$

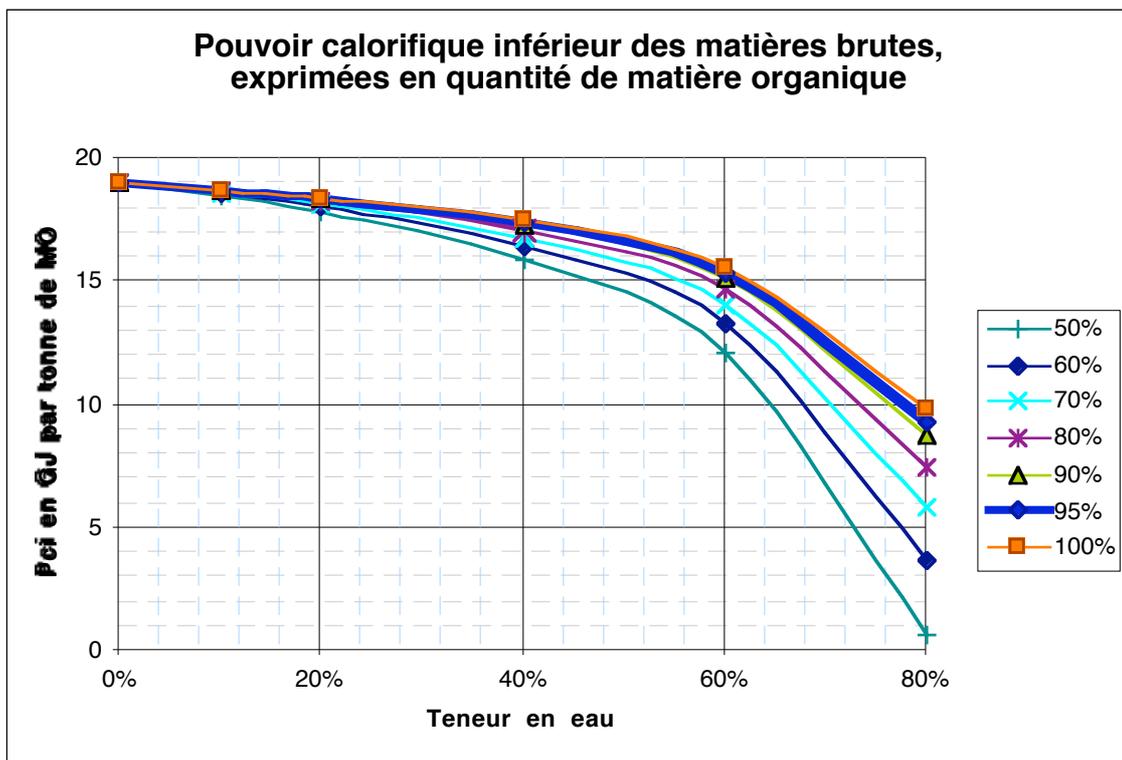
$$PCi^{\circ} = PCs^{\circ} - 2,3 \cdot w / mo$$

exprimé en GJ/t

Les graphiques ci-dessous indiquent :

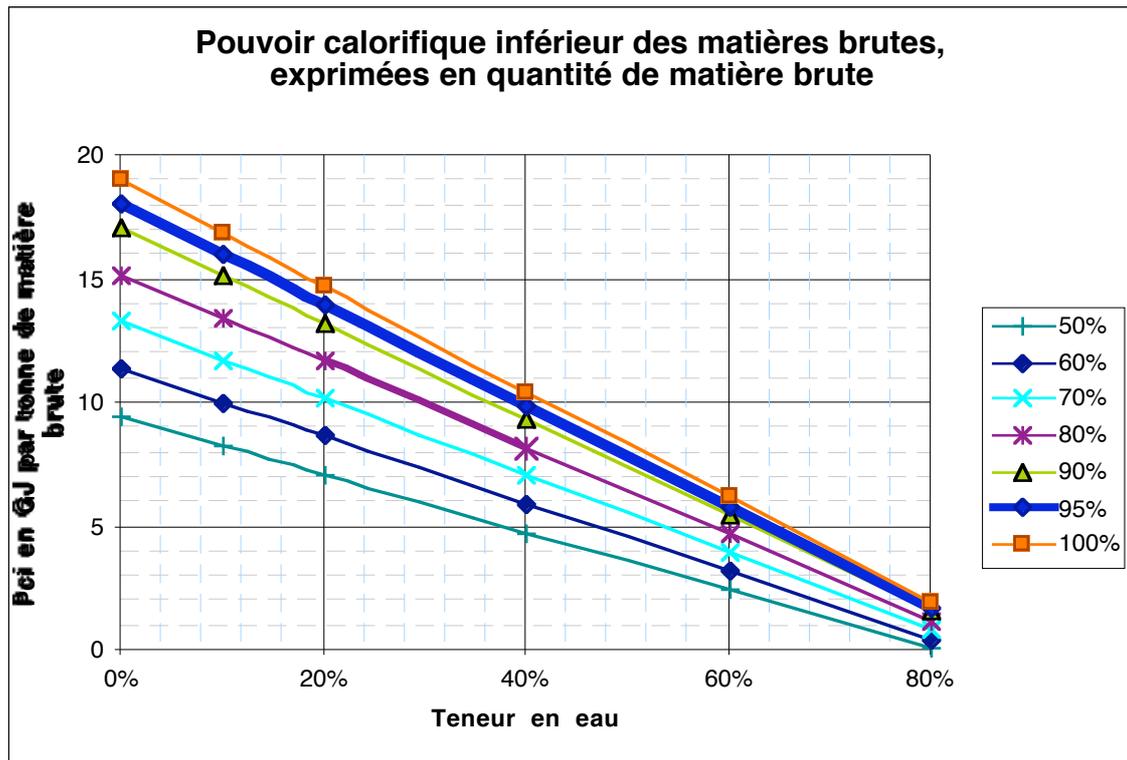
- le pouvoir calorifique réel de la biomasse, exprimé par par quantité de matières organique,
- le pouvoir calorifique réel de la biomasse, exprimé par par quantité de matière brute.

Figure 9 : Pouvoirs calorifiques inférieurs, en GJ/t MO



1

Figure 10 : Pouvoirs calorifiques inférieurs, en GJ/t brute



On constate qu'il est donc intéressant d'utiliser la matière organique comme unité de mesure. Le risque d'erreur lié à l'incertitude sur la nature du produit (matière sèche et matière organique) est en effet bien moindre.

Pour la méthanisation, le pouvoir méthanogène est indépendant de la teneur en eau. Il se calcule directement à partir de la teneur en matière organique, en appliquant un coefficient de dégradation. Généralement, celui-ci est de l'ordre de 50 % pour des substrats assez peu fermentescibles, à 70 % pour des substrats très fermentescibles, voire à plus de 90 % pour certains effluents (taux d'élimination de la DCO).

Par la suite, les coefficients de conversion suivant seront utilisés :

- **Combustion produits secs (MS > 60 %) : Pci = 17 GJ/t de MO**
- **Combustion produits humides (MS 35 à 50 %) : Pci = 15 GJ/t de MO**
- **Méthanisation : PCH₄ = 11 GJ/t de MO**

9.2.2. Ratios de production d'énergie

Les ratios de conversion PCI et PCH₄ par tonne de MO ont été appliqués aux différents déchets solides produits. Le ratio de production d'énergie des effluents est négatif pour l'incinération étant donné les teneurs fortes en eau.

Tableau 141 : Ratios de production d'énergie des déchets

	PCI TJ/Mt MO	PCH ₄ TJ/Mt MO	PCI ktep/Mt MO	PCH ₄ ktep/Mt MO
AGRICULTURE ET IAA				
Prairies permanentes	11	11	273	258
Déjections d'élevage	-6	11	-138	258
Résidus de culture	19	11	450	258
Abattoirs	9	11	224	258
Filière lait	-17	11	-415	258
IAA	17	11	293	258
FORETS				
Exploitation forestière	19	11	456	0
Industrie du bois	19	11	456	0
Filière papeterie	17	11	394	258
CONSOMMATION FINALE				
France : Déchets des ménages	17	11	403	258
France : Déchets des entreprises (DIB)	18	11	417	258
UE 15 : Déchets des ménages	17	11	402	258
UE 15 : Déchets des entreprises (DIB)	18	11	424	258
USA : Déchets des ménages	17	11	416	258
USA : Déchets des entreprises (DIB)	18	11	424	258
Chine : Déchets des ménages	16	11	372	258
Inde : Déchets des ménages	16	11	377	258

9.2.3. Hypothèses retenues pour la production d'énergie

L'estimation de la production d'énergie maximale pour chaque déchet a été réalisée à partir des ratios énergétique précédemment calculé pour chaque type de déchets.

Pour certains déchets, l'équivalence énergétique détermine le mode de valorisation préférentiel (cas des ratios négatifs). Pour les autres, le choix du mode de valorisation se fera selon le contexte de chaque filière et pour chaque pays.

Le ratio de production d'énergie par méthanisation est plus intéressant que celui de la valorisation thermique pour :

- les déchets solides des industries agroalimentaires ;
- les déjections animales (incinération inintéressante sur les lisiers et fumiers de bovins et porcins, majoritaires) ;
- la totalité des effluents liquides industriels et urbains.

Le ratio de production d'énergie par voie thermique est plus intéressant que celui de la méthanisation pour les déchets de l'industrie du bois.

Pour les déchets ménagers et DIB, les déchets de papeteries et résidus de culture, les ratios énergétiques sont favorables à une valorisation thermique. Toutefois, comme le choix dépend fortement de la problématique de chaque filière, les hypothèses suivantes ont été prises pour l'établissement d'un scénario unique :

- 20 % des résidus de récoltes sont valorisés par voie thermique (Marguerite Whitwham, 1999), [67], les 80 % autres sont méthanisés ;
- 50 % des déchets ménagers sont incinérés et 50 % méthanisés ;
- 50 % des déchets papeteries sont incinérés et 50 % méthanisés.

Les scénarios seront affinés dans la phase suivante de l'étude.

Tableau 142 : Gisements énergétiques accessibles, en Mtep/an

Mtep/an	France	Europe	USA	Chine	Inde
Total	51	303	438	368	215
Total existant (IEA)	12	59	64	179	111
Total accessible	39	243	374	189	104
AGRICULTURE ET IAA	16,7	60,5	91,5	116,0	90,5
Prairies permanentes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Déjections d'élevage	3,4	18,3	19,1	43,6	58,3
Résidus de culture	12,8	40,1	70,7	71,5	31,0
Abattoirs	0,1	0,2	0,3	0,9	0,1
Filière lait	0,1	0,4	0,2	0,0	0,0
IAA	0,3	1,5	1,2	0,0	1,1
FORETS	17,3	158,3	260,6	10,8	3,5
Forêt prod. non exploitée	6,4	135,9	222,5	0,0	0,0
Espaces arborés	7,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Exploitation forestière	2,4	16,8	29,9	9,1	2,3
Industrie du bois	0,2	4,8	7,4	1,3	1,2
Tranchage déroulage	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Panneaux	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
Filière pâte à papier	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Filière papeterie	0,1	0,8	0,9	0,5	0,1
CONSOMMATION FINALE	4,9	24,7	22,2	62,2	10,5
Déchets du bâtiment	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Déchets des ménages	0,9	10,7	13,6	34,5	10,5
Déchets des entreprises	0,8	14,1	8,6	27,6	0,0

9.3. Données par région sur la consommation d'énergie et les émissions de gaz carbonique

9.3.1. Bilans énergétiques par région

Pour mesurer les effets de la substitution de bioénergie aux énergies actuellement consommées dans les pays étudiés, nous considérerons trois grands postes :

- les usages de chaleur dans l'industrie, l'agriculture, le résidentiel et le tertiaire,
- les carburants,
- l'électricité.

Les ressources sont regroupées entre « charbon et dérivés », « pétrole et dérivés », « gaz naturel » et « autres » (hydraulique, nucléaire, biomasse et autres sources énergies diverses).

De cette façon nous pouvons estimer la part de chaque source dans la fourniture finale d'énergie.

Pour l'électricité, on raisonne en énergie primaire : l'économie de CO₂ est liée à la quantité de combustibles fossiles consommés dans les centrales thermiques.

Pour la chaleur, on raisonne en énergie finale : l'économie de CO₂ est liée à la quantité de combustibles fossiles consommés par les usagers finaux (ménages et entreprises). Il s'agit d'une approximation, car il faudrait tenir compte des pertes et autoconsommations de la branche énergie afin de livrer le combustible aux usagers finaux. Or, ces postes, qui représentent quelques pourcents de la consommation primaire, ne sont pas détaillés entre les différents usages finaux, notamment pour ce qui concerne le raffinage du pétrole. L'impact de la substitution par la biomasse sous-estime donc l'économie de CO₂ de quelques pourcents.

9.3.1.1. Chine

Tableau 143: Bilan des productions et usages de l'énergie en Chine (Sources : Issus de IEA 2003 [66])

Mtep	Charbon et dérivés	Pétrole et dérivés	Gaz naturel	Autres	Total	Electricité	Total
Energie primaire	604	193	21	93	911	21	932
Pertes, autoconsommations	-22	-30	-6	0	-58	-22	-80
Production d'électricité	-279	-17	-2	0	-298	81	-217
Usages non énergétiques	-11	-10	-5	0	-26	0	-26
Energie finale	252	135	8	93	489	77	567
Industrie, agriculture, ménages, tertiaire	246	96	8	93	443	75	518
Transports	7	39	0	0	46	2	48

9.3.1.2. Inde

Tableau 144: Bilan des productions et usages de l'énergie en Inde (Sources : Issus de IEA 2003 [66])

Mtep	Charbon et dérivés	Pétrole et dérivés	Gaz naturel	Autres	Total	Electricité	Total
Energie primaire	193	89	24	72	378	10	389
Pertes, autoconsommations	-6	-2	-5	0	-13	-11	-24
Production d'électricité	-124	-4	-9	0	-137	34	-103
Usages non énergétiques	0	-9	0	0	-9	0	-9
Energie finale	59	72	10	72	214	31	245
Industrie, agriculture, ménages, tertiaire	59	32	10	72	174	30	204
Transports	0	40	0	0	40	1	41

9.3.1.3. USA

Tableau 145: Bilan des productions et usages de l'énergie aux USA (Sources : Issus de IEA 2003 [66])

Mtep	Charbon et dérivés	Pétrole et dérivés	Gaz naturel	Autres	Total	Electricité	Total
Energie primaire	539	882	521	100	2 042	228	2 270
Pertes, autoconsommations	0	-44	-20	-2	-67	-4	-71
Production d'électricité	-496	-33	-142	-53	-724	109	-616
Usages non énergétiques	-15	0	-41	-2	-58	-48	-105,5
Energie finale	28	802	301	41	1 171	287	1 458
Industrie, agriculture, ménages, tertiaire	27	220	301	40	588	287	874
Transports	0	582	0	2	584	0	584

9.3.1.4. Europe des 15

Tableau 146 : Bilan des productions et usages de l'énergie aux USA (Sources : Issus de IEA 2003 [66])

Mtep	Charbon et dérivés	Pétrole et dérivés	Gaz naturel	Autres	Total	Electricité	Total
Energie primaire	217	599	344	58	1 217	264	1 486
Pertes, autoconsommations					0	-187	-187
Production d'électricité	-157	-32	-85	-16	-290	119	-171
Usages non énergétiques	23	121	31	1	176	0	175,9
Energie finale	36	446	227	41	750	196	970
Industrie, agriculture, ménages, tertiaire	36	124	227	40	427	191	658
Transports		307			307	5	312

9.3.1.5. France

Tableau 147 : Bilan des productions et usages de l'énergie aux USA (Sources : Issus de IEA 2003 [66])

Mtep	Charbon et dérivés	Pétrole et dérivés	Gaz naturel	Autres	Total	Electricité	Total
Energie primaire	13	81	38	13	145	114	259
Pertes, autoconsommations					0		0
Production d'électricité	-5	-1	-4		-11		-11
Usages non énergétiques	0	5	1	2	8	79	87
Energie finale	7	76	33	11	127	35	162
Industrie, agriculture, ménages, tertiaire	27	220	301	40	588	287	874
Transports	0	582	0	2	584	0	584

9.3.2. **Ratios d'émissions de CO2 par type d'énergie et par région**

On calcule, à partir des bilans précédents, des ratios « tep par tep » pour les deux types d'usages envisagés ici : chaleur et électricité.

Pour les carburants, il s'agit essentiellement de produits pétroliers. On n'en tiendra pas compte dans la suite pour l'estimation des enjeux en termes d'économies d'émissions de gaz carbonique.

Tableau 148: Consommations d'énergie par type d'usage (Sources : Issus de IEA 2003 [66])

		Inde		Chine		USA		UE		France	
		Mtep	tep/tep	Mtep	tep/tep	Mtep	tep/tep	Mtep	tep/tep	Mtep	tep/tep
Carburants transports		40		46		582		307		50	
Chaleur		174		443		588		427		77	
dont, en énergie finale :	Charbon	59	0,34	246	0,55	27	0,05	36	0,09	7	0,09
	Pétrole	32	0,19	96	0,22	220	0,37	124	0,29	26	0,34
	Gaz naturel	10	0,06	8	0,02	301	0,51	227	0,53	33	0,43
	autres	72	0,42	93	0,21	40	0,07	40	0,09	11	0,14
Electricité		31		77		287		196		35	
dont, en énergie primaire :	Charbon	124	3,99	278	3,59	496	1,73	157	0,80	5	0,15
	Pétrole	4	0,13	16	0,21	33	0,12	32	0,16	1	0,03
	Gaz naturel	9	0,29	3	0,04	142	0,49	85	0,43	4	0,12
	Autres	8	0,26	19	0,25	281	0,98	264	1,34	114	3,25
	<i>Total (tep/tep)</i>		<i>4,67</i>		<i>4,08</i>		<i>3,32</i>		<i>2,74</i>		<i>3,56</i>
Emissions	tCO ₂ /tep finale										
Mix chaleur		85 %	2,1	85 %	2,9	67 %	2,5	68 %	2,5	69 %	2,4
Mix électrique		15 %	17,0	15 %	15,1	33 %	8,4	32 %	4,7	31 %	1,0
Mix global			4,3		4,7		4,5		3,2		2,0

Coefficients d'émissions de gaz carbonique par combustible :

- 4,0 ktCO₂/ktep charbon
- 3,1 ktCO₂/ktep fioul
- 2,3 ktCO₂/ktep gaz

Pour l'Union Européenne, la consommation d'énergie finale de chaleur est de 427 Mtep, et celle d'électricité de 196 Mtep : soit, en cumulant les deux usages, 68 % de chaleur et 32 % d'électricité.

La chaleur est produite à 9 % par le charbon, 29 % par le pétrole, 53 % par le gaz, et 9 % par d'autres sources non émettrices de gaz à effet de serre (renouvelables). Compte tenu des coefficients d'émissions, 1 tep de chaleur génère donc 2,5 tonnes de CO₂.

Pour l'électricité, la consommation d'énergie primaire est de 0,8 tep de charbon par tep d'électricité finale, 0,16 tep de pétrole, 0,43 tep de gaz, et 1,34 tep d'autres sources non émettrices de CO₂ (nucléaire, hydraulique, autres renouvelables). 1 tep d'électricité finale génère donc 4,7 tonnes de CO₂.

On peut parler ainsi de "mix électrique européen" affecté d'un coefficient d'émission de 4,7 tCO₂/tep d'électricité finale, d'un "mix chaleur" à 2,5 tCO₂/tep, et d'un "mix global" contenant 68 % de chaleur et 32 % d'électricité, affecté d'un coefficient de **3,2 tCO₂/tep finale**.

Pour les autres régions étudiées, ce coefficient varie de **4,3** (Inde) à **4,7** (Chine) **tCO₂/tep finale**

Ce sont ces coefficients que nous utiliserons dans la suite pour évaluer les économies d'émission de CO₂.

9.3.3. Energie substituable et potentiel de réduction des émissions de gaz carbonique

La dernière étape de cette analyse consiste à examiner la consommation actuelle d'énergie et à la comparer au potentiel énergétique des bioénergies.

Le potentiel biomasse en Inde (360 Mtep) est en effet supérieur à la consommation finale d'électricité et de chaleur (carburants non compris). On introduit donc une limitation aux usages de la biomasse "par l'aval", selon la démarche suivante :

- 1 - Calcul du potentiel théorique de production d'électricité (rendement théorique de 30 %) en supposant que 50 % de la biomasse se prête à cette transformation [ex. Inde : $363 \times 30 \% \times 50 \% = 55 \text{ Mtep}$]
- 2 - Calcul du potentiel de production d'électricité en considérant que 50 % de la consommation finale d'électricité puisse être assurée à partir de la biomasse [ex. Inde : $50 \% \times 31 \text{ Mtep} = 16 \text{ Mtep}$, valeur retenue car $< 55 \text{ Mtep}$]
- 3- Calcul de la biomasse primaire consommée pour cette production [$16/0,3 = 52 \text{ Mtep}$]
- 4- Calcul de la chaleur cogénérée, en considérant que seule une partie est valorisée (soit 1/3 de l'énergie primaire) [$52 \times 0,3 = 17 \text{ Mtep}$]
- 5- Calcul des besoins de chaleur restant à assurer [$174 - 17 = 157 \text{ Ótep}$]
- 6- Potentiel biomasse disponible : potentiel théorique – consommation en cogénération [$363 - 52 = 312 \text{ Mtep}$]
- 7- Potentiel de production de chaleur : limité soit au potentiel disponible [312 Mtep] , soit à 2/3 des besoins de chaleur [$157 \times 2/3 = 104 \text{ Mtep}$, valeur retenue]
- 8- Biomasse non exploitée [$312 - 104 = 207 \text{ Mtep}$]

On obtient ainsi la production de chaleur et d'électricité finale, la consommation d'énergie primaire. En affectant les coefficients d'émissions de CO_2 , on en déduit les quantités économisées.

Tableau 149 : Energie substituable et potentiel de réduction des émissions de gaz carbonique
(Sources : Issus de IEA 2003 [66])

	Inde		Chine		USA		UE15		France	
	Mtep	MtCO ₂	Mtep	MtCO ₂	Mtep	MtCO ₂	Mtep	MtCO ₂	Mtep	MtCO ₂
Gisement biomasse	104		189		374		243		43	
Combustion	15		64		290		181		28	
Méthanisation	89		125		84		62		15	
Consommation actuelle énergie finale	205	888	520	2 467	875	3 896	623	1 974	112	220
Chaleur	174	359	443	1 298	588	1 483	427	1 050	77	186
Electricité	31	529	77	1 168	287	2 413	196	924	35	34
Biomasse exploitable										
Potentiel production d'électricité (max. 50 % du potentiel)	1	16	28		56		37		6	
Potentiel électricité cogénérée (max. 50 % consommation finale)	2	16	28		56		37		6	
Potentiel biomasse primaire pour cogénération	3	52	95		187		122		21	
Potentiel chaleur cogénérée (1/3 de l'énergie primaire)	4	17	31		62		40		7	
Besoins chaleur à couvrir	5	157	412		526		387		70	
Potentiel biomasse primaire restante	6	53	95		187		122		21	
Potentiel chaleur directe (max. 2/3 besoins de chaleur)	7	53	95		187		122		21	
Biomasse non exploitée	8	0	0		0		0		0	
		Mtep Taux couv.	Mtep Taux couv.							
Production de chaleur		70 40 %	126 28 %		249 42 %		162 38 %		28 37 %	
Production d'électricité		16 50 %	28 37 %		56 20 %		37 19 %		6 18 %	
Total énergie finale		85 42 %	154 30 %		305 35 %		198 32 %		35 31 %	
Energie primaire		104	189		374		243		43	
Economies CO ₂		MtCO ₂ Taux réduct.	MtCO ₂ Taux réduct.							
		409 46 %	796 32 %		1100 28 %		570 29 %		75 34 %	

Cette démarche ne tient pas compte des évolutions des consommations. On peut admettre que, compte tenu de la relativement faible croissance dans les pays industrialisés (USA, UE), la démarche donne des ordres de grandeur corrects. C'est la ressource biomasse qui constitue le facteur limitant : celle-ci permet d'assurer, en mobilisant la totalité du potentiel accessible, le tiers à la moitié des besoins d'énergie hors transports.

Pour l'Inde et la Chine, en revanche, le facteur limitant est le niveau de consommation. La biomasse considérée comme non exploitable aujourd'hui faute de débouchés, représente plus de la moitié du potentiel accessible.

En cas de doublement de la consommation d'énergie, comme cela est prévisible à moyenne échéance, ce facteur limitant disparaît en revanche. La situation rejoindrait alors celle des pays industriels.

10. Annexe 1 : caractérisation des produits

Produits	% MS	% MO
Alimentation		
Céréales	50 %	95 %
Sucre	99 %	90 %
Vin	10 %	100 %
Pomme de terre	27 %	95 %
Légumes-fruits	27 %	95 %
Viandes	30 %	95 %
Lait	11 %	99 %
Produits laitiers	15 %	99 %
Beurre	35 %	99 %
Fromage	35 %	99 %
Œufs	12 %	95 %
Déchets ménagers, DIB		
Putrescibles	44 %	77 %
Papiers	68 %	80 %
Cartons	70 %	82 %
Complexes	70 %	60 %
Textiles	74 %	92 %
Textiles sanitaires	74 %	92 %
Bois	78 %	95 %
Déchets verts	50 %	79 %
Plastiques	85 %	90 %
Combustibles divers	85 %	75 %
Verres	98 %	2 %
Métaux	90 %	1 %
Incombustibles divers	90 %	1 %
Déchets spéciaux	90 %	1 %

Déchets solides industriels		
Os bruts	80 %	5 %
Graisse	80 %	100 %
Déchets	50 %	80 %
Lisiers et fumiers	20 %	80 %
Contenu de panses	12 %	80 %
Pertes	26 %	90 %
Sang	14 %	96 %
Poils/soies	90 %	0 %
Peau-cuir	55 %	90 %
Déchets poisson : éviscération, de conserverie, "faux poissons"	4 %	80 %
Déchets de pomme de terre	31 %	96 %
Déchets transformation des légumes	15 %	97 %
Déchets transformation des fruits	15 %	97 %
Tourteaux (colza+tournesol+soja)	50 %	95 %
Terres décolorantes	90 %	50 %
Graisses	50 %	90 %
Déchets de lipochimie	15 %	50 %
Babeurre	7 %	99 %
Lactoserum	6 %	99 %
Farine basse blé	87 %	97 %
Remoulage blanc blé	87 %	97 %
Remoulage bis blé	8 %	96 %
Sons blés	87 %	94 %
Déchets solides	70 %	90 %
Pulpes	13 %	91 %
Mélasses	73 %	87 %
Vinasses	62 %	83 %
Herbes et radicelles	17 %	74 %
Ecume	60 %	9 %
Tare terreuse + pierre	0 %	0 %
Marc	35 %	94 %
Marc de raisin	30 %	92 %
Lies	35 %	90 %
Marc de pomme	22 %	97 %
Radicelles	17 %	74 %
Drêches de brasserie	10 %	96%

Levures de brasserie	90 %	98 %
Pertes de cuirs et peau	50 %	90 %
Déchets non tannés	50 %	90 %
Déchets tannés	50 %	90 %
Rebuts	50 %	90 %
Mixte	50 %	90 %
Suint	50 %	70 %
Poussière de laine	80 %	50 %
Ecorces	95%	95 %
Liqueurs noires + autres	50 %	88 %
Papier carton	70 %	80 %
Déchets bois	95 %	95 %
Connexes ->panneaux, papier, paille	95 %	95 %
Connexes->chaufferie	95 %	95 %
Matières premières agricoles		
Résidus de cultures		90 %
Grains	90 %	95 %
Graines triturées	90 %	95 %
Betterave	27 %	95 %
Pomme de terre à transformer	27 %	95 %
Légumes à transformer	27 %	95 %
Fruits à transformer	27 %	95 %
Raisin		15 %
Orge		90 %
Lait	11 %	99 %

Déjections animales		
Fumier bovin	25 %	75 %
Lisier bovin	11 %	75 %
Fumier porcin	25 %	75 %
Lisier porcin	6 %	75 %
Fumier ovin et caprin	30 %	75 %
Fumier de canard	13 %	75 %
Lisier de canard	10 %	75 %
Fumier autres volailles	70 %	75 %
Fumier équin	50 %	75 %
Lisier poule	10 %	75 %
Lisier lapin	10 %	75 %

Produits de transformation industrielle		
Farine brute	90 %	95 %
Farine consommation	90 %	95 %
Huile brute et raffinée	100 %	95 %
Sucre	95 %	99 %
Alcool		60 %
Produits finis (frites, chips)	40 %	90 %
Conserves	20 %	90 %
Conserves, compotes et confitures	20 %	90 %
Vin	100 %	12 %
Malt	100 %	90 %
Bière	100 %	6 %
Lait conditionné	9 %	99 %
Yaourts et laits fermentés	12 %	99 %
Desserts lactés	20 %	99 %
Beurre	35 %	99 %
Fromage de vache	40 %	99 %
Poudre de lait	95 %	99 %
Poudre de lactosérum	93 %	99 %
Viande		38 %
Plats à base de viande		38 %

11. Annexe 2 : méthodologie pour la caractérisation de la chaîne de traitement des eaux usées

La caractérisation de la chaîne de traitement des eaux usées a été déterminée afin de faire apparaître chaque production de matière organique (carbone) : eaux usées, boues urbaines, rejet eaux propres, CO₂.

Pour cela, les données suivantes sont nécessaires :

- Quantité de matière organique produite par habitant et par jour dans les eaux usées : g DCO/l et l d'eau usées/hab/j ou directement g DCO/j/hab
- Population du pays
- Rapport DCO/DBO5 (X): ce rapport est en moyenne de 2 pour les eaux usées, la formule « $MO = DCO/3*(2/X+1)$ » est utilisée pour la détermination de la matière organique.
- Proportion d'eaux usées traitées en station d'épuration correspondant à la proportion de la population raccordée à un système d'assainissement
- Rendement du système d'épuration, le rendement moyen d'une station d'épuration sur la matière organique est de 70 %

Les données grisées dans les tableaux sont issues de la littérature pour les différents pays.

12. Annexe 3 : glossaire

Biodégradables : Dans cette étude, correspondent aux produits biodégradables issus de la biomasse

COVNM : Composés Organiques Volatils Non Méthaniques

DBO5 : Demande biologique en oxygène dégradable au bout de 5 jours, caractéristique de la quantité de matière organique biodégradable d'un effluent

DCO : Demande Chimique en oxygène, caractéristique de la quantité de matière organique dégradable d'un effluent

DIB : Déchets industriels banals

E : Export

Effluents industriels : Quantité d'effluents liquides, chargés en matière organique dissoute ou en suspension, généré par le process et/ou par les eaux de lavage, produits par les industries

FFOM : Fraction fermentescible des Ordures Ménagères

Gisement accessible : Quantité théorique accessible de déchets récoltables dans les conditions techniques, sociales et économiques actuelles, non déjà recyclés et techniquement méthanisables ou combustibles

Gisement brut : Quantité théorique produite (valeur maximale)

I : Import

IAA : Industries Agroalimentaires

ITERG : Centre Technique Industriel des Professions de Corps Gras

Matière sèche (% MS) ou siccité : Quantité de matière solide sèche, opposé d'humidité, en % de la matière brute

Matière organique (% MO) ou Matière Oxydable : Quantité de matière organique contenu dans la matière sèche, en % de la matière sèche

Matière oxydable (MO) : Quantité de matière organique contenue dans les effluents (urbains ou industriels) et calculé à partir de la DCO et DBO5 par la formule $MO = (2 \text{ DBO5} + \text{DCO})/3$

Potentiel énergétique intrinsèque : contenu énergétique de la matière organique défini par les liaisons atomiques. Il est indépendant des techniques de conversion en énergie.

Pouvoir calorifique : contenu énergétique d'un combustible, tenant compte du potentiel énergétique de la matière organique, et de la présence d'eau et de minéraux.

Potentiel méthanogène : contenu énergétique d'un produit, tenant compte du potentiel énergétique et du taux de transformation de la matière organique en biogaz.

Production primaire nette : Production de biomasse végétale et animale

Rémanents forestiers : partie de la biomasse forestière restant sur la parcelle après récolte

Résidus de culture : Biomasse végétale récoltable correspondant à une fraction des parties aériennes et une fraction de partie souterraines

13. Annexe 4 : références bibliographiques

N°Ref	Type de références	Pays	Titre du Document	Auteur	Année	Editeur
1	Agriculture et espaces boisés	CHINE	Identification and Evaluation of biomass Resources in China	Agence chinoise des énergies renouvelables (www.opet.net.cn)	2000	
2	Agriculture et espaces boisés	CHINE	Animal Production Based on Crop Residues - Chinese Experiences	Guo Tingshuang, Manuel D. Sanchez, Guo Pei Yu	2002	FAO
3	Agriculture et espaces boisés	EUROPE	L'agriculture dans l'Europe des Quinze	GraphAgri Europe	1999	Ministère de l'Agriculture et de la Pêche
4	Agriculture et espaces boisés	FRANCE	Statistiques agricoles annuelles	SCEES	1999	
5	Agriculture et espaces boisés	FRANCE	La forêt et les industries du bois	Agreste	2000	SCEES
6	Agriculture et espaces boisés	FRANCE	Statistiques forestières en 2000	Agreste	2001	
7	Agriculture et espaces boisés	FRANCE	Récolte de bois de production de sciages en 1999	Agreste	2001	
8	Agriculture et espaces boisés	FRANCE	Les industries du bois	SESSI	1996	
9	Agriculture et espaces boisés	FRANCE	L'industrie des panneaux à base de bois	SESSI	2000	
10	Agriculture et espaces boisés	FRANCE	L'agriculture, la forêt et les industries agroalimentaires	Agreste	2002	GraphAgri, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche
11	Agriculture et espaces boisés	FRANCE	Evaluation des quantités actuelles et futures de déchets épandus sur les sols agricoles et provenant de certaines activités. Lot 3 : effluents d'élevage.	Biomasse Normandie	2002	Ministère de l'Ecologie et du développement Durable
12	Agriculture et espaces boisés	FRANCE	Faisabilité écologique de la valorisation énergétique de la paille en Ile-de-france	SOLAGRO	2001	ARENE et ADEME Ile-de-France
13	Agriculture et espaces boisés	FRANCE	Fertiliser avec les engrais de ferme	Institut de l'élevage, ITAVI, ITCF, ITP	2001	
14	Agriculture et espaces boisés	INDE	Country Pasture/Forage Resource Profiles, India	FAO (www.fao.org)	2000	
15	Agriculture et espaces boisés	MONDE	La situation des forêts dans le Monde en 2000	FAO (www.fao.org)	2000	
16	Agriculture et espaces boisés	MONDE	FAOSTAT AGRICULTURE DATA (Land use, crops primary, livestock primary)	FAO (www.fao.org)	2000	
17	Agriculture et espaces boisés	MONDE	Agricultural and forest residues - generation, utilisation and availability	Auke Koopmans et Jaap Koppejan	1997	
18	Emissions atmosphériques	CHINE	Biomass burning in Asia : annual and Seasonal estimates and atmospheric emissions	D. Streets and J.-H. Woo 2003	2003	
19	Emissions atmosphériques	EUROPE	Annual European Community Greenhouse Gas Inventory 1990-2014 and Inventory Report 2003	Agence Européenne de l'Environnement (www.eea.eu.int)	2003	
20	Emissions atmosphériques	FRANCE	Inventaire des émissions de gaz à effet de serre en France au titre de la convention cadre des Nations-Unis sur le changement climatique	CITEPA	2002	Ministère de l'Ecologie et du développement Durable
21	Emissions atmosphériques	FRANCE	Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France - Séries sectorielles et analyses étendues	CITEPA	2003	Ministère de l'Ecologie et du développement Durable
22	Emissions atmosphériques	USA	Inventory of US Greenhouse Gas Emissions and Sinks 1995-2001	Agence de l'Environnement US (www.epa.gov)	2003	
23	Industrie	CHINE	Current Situation of Cleaner Production in Chinese Pulp and paper Industry ans Experience on Cleaner Production Audit	Wang Ping	2001	
24	Industrie	CHINE	Implementation of Anaerobic Digestion in Industry Organic Wasterwater Treatment	Ou Xunmin	2002	
25	Industrie	EUROPE	La consommation de produits pétroliers en Europe	UFIP (www.petrole.fr)	2000	
26	Industrie	FRANCE	Panorama des industries agroalimentaires	Agreste	2002	Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et des Affaires Rurales
27	Industrie	FRANCE	Déchets banals des entreprises. Quel tonnage?	ADEME	2003	
28	Industrie	FRANCE	Sous-produits et déchets des industries agricoles et alimentaires : quels gisements?	ADEME	1994	

29	Industrie	FRANCE	Evaluation des quantités actuelles et futures de déchets épanchés sur les sols agricoles et provenant des activités industrielles hors agroalimentaire.	A.N.D. International	2002	
30	Industrie	FRANCE	Les préoccupations environnementales de l'industrie des corps gras	F. Bosque	2001	Institut des Corps Gras (ITERG)
31	Industrie	FRANCE	Industrie papetière française : gestion et traitement des déchets	ADEME	2001	
32	Industrie	FRANCE	Les composantes industrielles de la pollution des eaux XV Situation au 1 ^{er} janvier 1989	Ministère de l'Industrie et Agences de bassin	2001	
33	Industrie	FRANCE	Dépollution des eaux usées des industries - Les principaux flux de pollution observés en 2000	Agence de l'eau Rhin-Meuse	2003	
34	Industrie	FRANCE	L'industrie au regard de l'environnement - les chiffres-clés du Nord-Pas-de-Calais	DRIRE Nord-Pas-de-Calais IRE et Agence de l'eau Seine-Normandie	2000	
35	Industrie	FRANCE	Bilan d'activités 2002	Agence de l'eau Adour-Garonne	2002	
36	Industrie	FRANCE	Données industrielles de pollution par activité	Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse	2003	
37	Industrie	FRANCE	Assiette de pollution	Agence de l'eau Loire-Bretagne	2001	
38	Industrie	INDE	National Master Plan for Development of Waste to Energy in India	Ministère indien des Energies Non conventionnelles (www.indiawteplan.com)	2000	
39	Industrie	MONDE	Key to the Finnish Forest Industry	Finnish Forest Industries Federation, Helsinki	2000	
40	Industrie	MONDE	Les chiffres-clés des produits carnés (France, Union Européenne, Monde)	OFIVAL	2002	
41	Industrie	USA	Données statistiques de production végétale et pêche	FAO (www.fao.org) et Ministère de l'agriculture US (www.usda.gov)	2000	
42	Industrie	USA	Données statistiques de l'utilisation du pétrole aux Etats-Unis	Ministère de l'Industrie US (www.doe.gov)	2000	
43	Ménages et Entreprises	CHINE	Our views on the resolution of China's Rural Energy requirements	Wu Wen	1982	
44	Ménages et Entreprises	CHINE	Technical Guideline of Waste Water treatment du 19/7/2000	Agence chinoise de Agenda 21 (www.acca21.org.cn/english)	2000	
45	Ménages et Entreprises	CHINE	Solid Waste Management in China	J.P. Henderson	1995	
46	Ménages et Entreprises	CHINE	Industrial Solid Waste	Agence chinoise de Agenda 21 (www.acca21.org.cn/english)	2000	
47	Ménages et Entreprises	EUROPE	Production de déchets municipaux, production de DIB, composition des déchets municipaux	EUROSTAT (www.europa.eu.int/comm/eurostat)	2000	
48	Ménages et Entreprises	EUROPE	Production de boues urbaines dans l'Union Européenne	ADEME-Arthur Andersen	1999	Institut Français de l'Environnement
49	Ménages et Entreprises	EUROPE	Population raccordée au réseau d'assainissement	EUROSTAT (www.europa.eu.int/comm/eurostat)	2000	
50	Ménages et Entreprises	FRANCE	Les déchets de la restauration en France - Etat des lieux	ADEME	2000	
51	Ménages et Entreprises	FRANCE	Quelle place pour la méthanisation des déchets organiques en Ile de-France	SOLAGRO	2002	Etude ARENE Ile-de-France
52	Ménages et Entreprises	FRANCE	Déchets municipaux : les chiffres-clés	ADEME	2003	
53	Ménages et Entreprises	FRANCE	Analyse des coûts de gestion des déchets municipaux	SOFRES	1998	ADEME-AMF
54	Ménages et Entreprises	FRANCE	La composition des ordures ménagères en France (MODECOM 1993)	ADEME	1999	
55	Ménages et Entreprises	FRANCE	Caractérisation physico-chimique des déchets ménagers	Fricke et al.	1999	Article paru dans le rapport Environnemental de la région Brandebourg, 2000
56	Ménages et Entreprises	INDE	Access to Improved Sanitation 1980-2000	UNICEF	2001	
57	Ménages et Entreprises	INDE	Statistiques de production de déchets	Ministère Indien des Statistiques (www.mospi.nic.in)	2000	

58	Ménages et Entreprises	INDE	Biomass Energy Flow Charts	FAO (www.iccept.ic.ac.uk)	1989	
59	Ménages et Entreprises	USA	Déchets ménagers solides	Agence de l'Environnement US (www.epa.gov)	2001	
60	Ménages et Entreprises	USA	Establishing treatment system performance requirements	Agence de l'Environnement US (www.epa.gov)	2001	
61	Ouvrage de références	FRANCE	Mémento technique de l'eau, tomes 1 et 2	Degrémont	1989	9ème édition
62	Ouvrage de références	FRANCE	Gestion des problèmes environnementaux dans les industries agroalimentaires	R. Moletta	2002	
63	Ouvrage de références	FRANCE	Recensement et répartition de la population française	INSEE	2000	
64	Ouvrage de références	FRANCE	Guide des matières organiques, tomes 1 et 2	B. Leclerc	2001	
65	Ouvrage de références	FRANCE	Les grandes productions végétales	D. Soltner	1999	
66	Ouvrage de références	MONDE	Renewables Information	International Energy Agency (IEA)	2003	
67	Ouvrage de références	MONDE	Biomasse et électricité - La Biomasse d'origine agricole	Marguerite Whitwham	1999	Les Cahiers du CLIP n°10

Potentiels et facteurs d'émergence de la récupération du biogaz et des gaz fatals

RÉSUMÉ & SYNTHÈSE

Rapport Phases 2 et 3

N° 02 - 415/1A

Résumé

Mots clés : Biomasse, biogaz, énergie, matière organique, méthanisation, déchets, effluents, résidus.

Cette étude vise à estimer le potentiel énergétique de la biomasse, et plus particulièrement du biogaz, pour la France, l'Union Européenne, les Etats-Unis, la Chine et l'Inde.

La méthode est basée sur **l'identification et le « bouclage » des flux de matière organique**, depuis les sols agricoles et forestiers jusqu'à leur usage final, ce qui permet de limiter les omissions et double-comptes inhérents aux méthodes habituelles. Elle a été testée pour la France, et semble concluante.

Le potentiel « biogaz » pour la France est estimé à 15 Mtep, pour une contribution potentielle totale de la biomasse de 54 Mtep. Les pays industrialisés disposent d'une ressource potentielle en **biomasse** représentant la **moitié de la consommation finale actuelle de combustibles et d'électricité, dont le quart sous forme de biogaz**.

En Chine et en Inde, la contribution potentielle de la **biomasse** est du **même ordre de grandeur que la consommation finale actuelle de combustibles et d'électricité**. L'exploitation de la forêt est déjà intensive, et la **majeure partie de l'accroissement** pourrait s'effectuer par le **biogaz**, qui constitue déjà une solution pour lutter contre la déforestation.

La majeure partie de la ressource biogaz provient des déjections d'élevage et des résidus de culture, pour lesquels la méthanisation permet de restituer aux sols les éléments nutritifs organiques et minéraux.

Pour les 4 régions géographiques étudiées, la contribution du biogaz pourrait passer de 11 Mtep actuellement, à 370 Mtep à long terme.

Summary

Key words : biomass, biogas, energy, organic matter, anaerobic digestion, waste, residues, wastewater.

The aim of this study is to assess the energy potential of biomass, mainly biogas, for France, European Union, USA, China and India.

The methodology is based on the identification of the organic matter flows, from agricultural and forestry areas, to their end use. This allows a limitation of double counts and forgotten flows, relevant to most usual methods. It has been tested for France, and seems successful.

Biogas potential for France is assumed to be about 15 Mtoe, on a global biomass potential of about 54 Mtoe. Potential biomass resource in the industrialized countries is about one half of final consumption of fuels and electricity, among which a quarter from biogas.

In China and India, biomass potential is of the same magnitude than final consumption of fuels and electricity. Forestry is already intensive, and most of the increasing should be due to biogas, which is already a solution against deforestation.

Most of biogas resources come from animal manure and crop residues. Anaerobic digestion allows the restitution of organic and mineral fertilizers to the soils.

For the 4 areas of this study, biogas potential could rise from 11 Mtoe today, to 370 Mtoe in a long term perspective.

SOMMAIRE

1.	UNE MÉTHODE ORIGINALE D'ANALYSE DU POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE DE LA BIOMASSE	4
1.1	LA BIOMASSE « FATALE »	4
1.2	UNE MÉTHODE DE TYPE « BOUCLAGE DES BILANS »	4
1.3	LES « GAZ FATAIS »	5
2.	LES FILIÈRES « BIOMASSE ÉNERGIE »	6
2.1	MÉTHANISATION ET BIOMASSES LIQUIDES	6
2.2	LES RÉSIDUS DE CULTURE	6
2.3	LA GAZÉIFICATION DES BIOMASSES LIGNEUSES	7
3.	LE POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE « LONG TERME » DES BIOMASSES MOBILISABLES	8
3.1	PRIORITÉS	8
3.2	FRANCE	8
3.3	UNION EUROPÉENNE DES 15	9
3.4	ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE	9
3.5	CHINE ET INDE	9
3.6	CONCLUSION SUR LE POTENTIEL BIOGAZ	10

Synthèse

1. Une méthode originale d'analyse du potentiel énergétique de la biomasse

1.1 La biomasse « fatale »

La méthode développée dans cette étude vise à analyser le potentiel de biomasse « fatale » pouvant être mobilisé à des fins énergétiques.

La biomasse « fatale » comprend l'ensemble des résidus forestiers, résidus de récolte, l'ensemble des déchets solides ou liquides générés par l'agriculture, les entreprises et les ménages, à un stade ou un autre des circuits de production, transformation et consommation, et qui ne sont pas utilisés à des fins alimentaires ou comme matériaux. Elle comprend également la biomasse non prélevée, laissée en forêt ou aux champs, soit sous forme de résidus (comme les pailles), soit par capitalisation sur pied (forêt).

Elle ne comprend donc pas la biomasse cultivée à des fins exclusivement énergétiques.

La méthode consiste à considérer l'ensemble des flux de biomasse, depuis la « production primaire nette » jusqu'à l'abandon final en fin de vie. Les « circuits » suivis par la biomasse sont décrits selon différents modules, qui peuvent être regroupés entre :

- ❑ la production primaire nette des surfaces **agricoles, forestières** et **autres** ;
- ❑ les **animaux d'élevage** ;
- ❑ la transformation des produits agricoles **végétaux** ; des produits **animaux** (abattoirs...) ; des **scieries** ; des industries **papetières** ;
- ❑ les entreprises de **seconde transformation** du bois, la **distribution** ;
- ❑ les consommateurs finaux de produits issus de la biomasse, **entreprises** et **ménages**.

1.2 Une méthode de type « bouclage des bilans »

Il existe de nombreuses données statistiques disponibles, mais il reste extrêmement difficile de décrire de façon satisfaisante les flux de matières réelles compte tenu de l'hétérogénéité des informations, des unités de mesure, des imprécisions sur les champs étudiés, etc. D'où de nombreuses sources d'erreurs possibles dans les études de potentiels : double compte d'une part, omissions d'autre part.

Le parti pris dans cette étude est :

- ❑ de raisonner sur la base de **quantité de matière organique**, unité de compte applicable à l'ensemble des produits dérivés de la biomasse, et par ailleurs relativement aisé à traduire en termes énergétiques ;
- ❑ de viser une approche de type « **bouclage des bilans** » au niveau de chaque « module », c'est-à-dire d'identifier les entrées et sorties, qui en théorie doivent s'équilibrer. Pour certains modules, on met ainsi en évidence des incohérences, pointant ainsi les principales sources d'incertitudes ;
- ❑ de consolider en outre l'analyse en confrontant les **statistiques énergétiques** concernant les filières biomasse. Il est possible en effet d'estimer les flux de matière utilisée à des fins énergétiques, à partir des statistiques énergétiques disponibles.

Malgré tous les risques que comporte cette approche, il apparaît que sur 288 MtMO (millions de tonnes de matières organiques) générées sur le territoire métropolitain français, nous parvenons à un « bouclage de bilan » à 12 MtMO près, soit 4 % près. Ce chiffre est sans doute assez illusoire, mais une précision de l'ordre de 10 % serait encore tout à fait satisfaisante.

Cette démarche est originale par rapport à d'autres analyses de potentiel, dans le sens où habituellement le raisonnement s'effectue uniquement par compilation des quantités de déchets et résidus, en additionnant les différents flux identifiés. D'où les risques de double compte ou d'omission.

Ici, le raisonnement à partir des « sorties » est conforté à la fois par l'analyse de l'ensemble des flux de matière et par l'analyse des statistiques énergétiques concernant la biomasse, qui permet aujourd'hui de donner une estimation relativement fiable des quantités de matières organiques utilisées à des fins énergétiques, pour les 4 grandes régions du globe étudiées dans l'étude.

Cette méthode qui a été appliquée à la France, pourrait donc être employée également pour d'autres régions. Pour la présente étude, c'est une analyse de type « compilation des résidus » qui a été menée pour les autres pays, étant donné la grande quantité d'informations qu'il aurait été nécessaire de collecter pour réaliser une approche similaire. Les quantités de biomasse valorisée en énergie ont été estimées à partir des statistiques de l'Agence Internationale de l'Energie.

1.3 Les « gaz fatals »

Les « gaz fatals » sont les gaz émis de manière spontanée du fait des conditions anaérobie de stockage de biomasses biodégradables, comme les déchets stockés en centres d'enfouissement, ou les déjections d'élevage stockés en fosses à lisiers ou en fumières.

Ils résultent également de la volatilisation de composés organiques (COV) : il s'agit ici principalement des solvants.

On peut inclure dans cette catégorie de « gaz fatals » les biogaz émis par les fermentations entériques (ruminants), les sols agricoles (rizières).

Méthane et COV sont des polluants atmosphériques dont il convient de réduire les émissions. Différentes solutions techniques sont applicables, outre les stratégies visant à réduire ces émissions à la source : récupération du gaz de décharge ; traitement des lisiers ; récupération des COV. Ces techniques sont susceptibles de générer de l'énergie. C'est bien entendu le cas pour le gaz de décharge, qui constitue aujourd'hui la principale source d'énergie tirée du biogaz. Les déjections d'élevage peuvent également être méthanisées. Quant aux COV, ils peuvent, s'ils sont collectables, faire l'objet d'une valorisation énergétique dans certains contextes.

L'identification des flux de ces gaz fatals, dont on dispose de données statistiques, constitue, comme les statistiques énergétiques, une autre voie de consolidation de l'analyse des flux de matières organiques.

2. Les filières « biomasse énergie »

L'objectif initial de cette étude est d'estimer un potentiel énergétique issu de la biomasse, susceptible d'être produit sous forme de gaz combustible, notamment sous forme de biogaz.

Or, la plupart des biomasses peuvent être converties en énergie, aussi bien par méthanisation que par combustion, ou encore par gazéification qui conduit à la production d'un gaz de biomasse.

D'où la nécessité d'envisager l'ensemble des biomasses pour mesurer ce potentiel.

2.1 Méthanisation et biomasses liquides

Bien entendu, la méthanisation semble plus particulièrement indiquée pour les biomasses :

- ❑ liquides – comme les effluents des industries agro-alimentaires et, plus généralement, les effluents chargés en pollution organique comme les industries de la pâte à papier, chimiques, etc ;
- ❑ notamment celles qui sont riches en matières fertilisantes azotées, comme les lisiers.
- ❑ solides humides, comme les biodéchets des ménages ou des entreprises, ou les fumiers.

Pour tous ces produits, le potentiel énergétique représenté par la méthanisation est supérieur à celui qui serait offert par la combustion, puisque dans ce dernier cas une grande partie du « potentiel énergétique intrinsèque » du matériau serait consommé par l'évaporation de l'eau, d'où des pouvoirs calorifiques faibles, voire négatifs.

Au contraire, le bilan énergétique de la méthanisation est relativement peu affecté par la présence d'eau – sauf cas extrême des effluents urbains ou industriels peu chargés en matière organique. On peut cependant noter qu'il existe des réalisations de méthanisation des effluents urbains bruts, notamment en Inde (mais aussi aux Pays-Bas), ce qui est permis par le climat : la température de ces effluents ne descendant jamais au dessous d'un seuil critique.

2.2 Les résidus de culture

Elle peut également s'appliquer à des biomasses solides à forte teneur en matière sèche, comme les papiers-cartons, et surtout comme les résidus de culture (pailles notamment). En effet, pour des questions agronomiques, le prélèvement des pailles est limité par les besoins en matières organiques des sols. La préservation de la teneur en humus de ceux-ci, menacée dans de nombreuses régions de l'Union Européenne, en Chine et en Inde, mais aussi aux Etats-Unis, nécessite de restituer ces résidus qui, par ailleurs, contiennent également des fertilisants minéraux nécessaires aux sols.

La méthanisation, tout comme le compostage, et à la différence de la combustion, permet de restituer ces éléments fertilisants : le procédé ne dégrade pas en effet la lignine, principal facteur de production d'humus. La paille méthanisée ou compostée possède le même potentiel fertilisant que la paille brute.

Au contraire, l'abandon sur place de la paille peut générer des phénomènes de « faim d'azote », liés à la décomposition de celle-ci qui conduit à immobiliser provisoirement l'azote du sol. Les pailles méthanisées, donc stabilisées, présentent au contraire des caractéristiques plus proche des fertilisants minéraux (plus forte proportion d'azote sous forme ammoniacale) permettant d'éviter ce phénomène.

Ce raisonnement s'applique également aux déjections d'élevage : de grandes quantités de celles-ci sont collectées au niveau des bâtiments agricoles, et épandus sur les sols cultivés. Leur traitement préalable par méthanisation ne réduit pas leur potentiel fertilisant.

La méthanisation offre donc une solution permettant de tirer parti du potentiel énergétique de la biomasse sans ? son potentiel fertilisant. Ce qui autorise la mobilisation des grandes quantités de résidus de cultures et de déjections d'élevage pour la production d'énergie.

2.3 La gazéification des biomasses ligneuses

La seconde grande voie de production de gaz à partir de biomasse est la gazéification. Comme toutes les voies thermochimiques, celle-ci est plus particulièrement indiquée pour les biomasses ligneuses et sèches : bois bûche et résidus d'exploitation forestière, connexes de scieries, déchets de bois des industries de seconde transformation, bois de rebut...

Elle peut également s'appliquer aux résidus de culture, sous réserve d'une limitation des prélèvements pour les raisons agronomiques exposées ci-dessus. Cette question est controversée : certains spécialistes pensent que les racines et chaumes laissées sur place suffisent en général à préserver le taux d'humus. Il nous semble toutefois difficile de construire des scénarios prospectifs sur une hypothèse contestée, aussi nous ne considérons ici cette filière que de manière très limitée.

Toute une catégorie de biomasse peut également faire l'objet d'une conversion soit par méthanisation, soit par voie thermochimique. C'est le cas notamment de biomasses solides et relativement humides, comme les déchets municipaux et assimilés et les papiers - cartons.

3. Le potentiel énergétique « long terme » des biomasses mobilisables

3.1 Priorités

Les biomasses peuvent être regroupées en différentes catégories.

Parmi celles qui sont laissées sur place – au champs ou en forêt –, une partie ne peut être collectée (déjections aux champs) et n'est pas prise en compte dans le potentiel. Une autre partie est capitalisée sur pied (accroissement du stock forestier), et pourrait être mobilisée si les conditions technico-économiques étaient réunies. Une autre partie enfin est abandonnée sur place, mais pourrait être mobilisée à moindre coût, comme les résidus de cultures ou les rémanents d'exploitation forestière abandonnés sur place.

Une partie de la biomasse brute est collectée : il s'agit des produits mobilisés pour la production d'énergie (bois et autres types de biomasse), et des déjections d'élevage en bâtiment et qui sont ensuite généralement épandues.

Les biomasses prélevées pour l'alimentation humaine ou animale, ou les usages matériaux (bois d'industrie, bois d'œuvre), subissent différentes étapes de transformation qui génèrent des effluents, déchets et sous-produits. Certains font l'objet aujourd'hui d'une valorisation énergétique. Une grande partie se retrouve sous forme de déchets actuellement non valorisés, mais qui doivent faire l'objet d'un traitement pour des questions de préservation de l'environnement.

Le potentiel estimé ne prend pas en compte les sous-produits et co-produits employés comme matériaux ou pour l'alimentation animale.

On peut ainsi distinguer plusieurs niveaux et établir une hiérarchie en terme de facilité de mobilisation.

- ❑ Au premier rang, les **déchets à traiter**, municipaux ou d'entreprises ;
- ❑ Au second rang, les **résidus collectés et pour lesquels un traitement est souhaitable** mais non obligatoire, comme les lisiers ;
- ❑ Au troisième rang, les **résidus non récoltés mais qui pourraient l'être à faible coût** : résidus de cultures, rémanents forestiers, résidus d'entretien des espaces arborés non forestiers ;
- ❑ Enfin, la dernière catégorie concerne les surfaces forestières et agricoles (jachères) non utilisées pour la production de matériaux ou de nourriture. Ces surfaces peuvent être employées pour de nouvelles productions, ou pour des productions énergétiques dédiées.

3.2 France

Le potentiel énergétique est calculé sur la base d'une répartition entre les technologies méthanisation et combustion/gazéification.

La production actuelle de bioénergies en France, hors cultures énergétiques, est de 12 Mtep (énergie primaire). Le potentiel supplémentaire est de 43 Mtep, soit un total de 45 Mtep. Il s'agit d'un potentiel « long terme », qui n'intègre pas à ce stade de l'étude des considérations d'ordre économique.

Il se répartit entre 17 Mtep d'origine agricole (dont 13 Mtep de biogaz issu des déjections d'élevage, résidus de culture et résidus agro-alimentaires) ; 5 Mtep de déchets des ménages, des entreprises et issus des bâtiments (dont 2 Mtep de biogaz) ; 4 Mtep d'origine forestière (rémanents et résidus de 1^{ère} et 2^{nde} transformation), auxquels peuvent s'ajouter 8 Mtep de bois non exploité ; 9 Mtep provenant des espaces arborés non forestiers.

La contribution potentielle du biogaz est de 15 Mtep.

Sur les 3 Mt de COVNM émis annuellement vers l'atmosphère, les trois quarts sont des émissions diffuses. L'enjeu en terme de potentiel énergétique est de l'ordre de 0,4 Mtep. Concernant les émissions actuelles de méthane, l'essentiel du gisement récupérable est constitué par le gaz de décharge non collecté, et par le gaz émis par la fermentation des déjections. Le potentiel récupérable total est de 0,7 Mtep en ordre de grandeur.

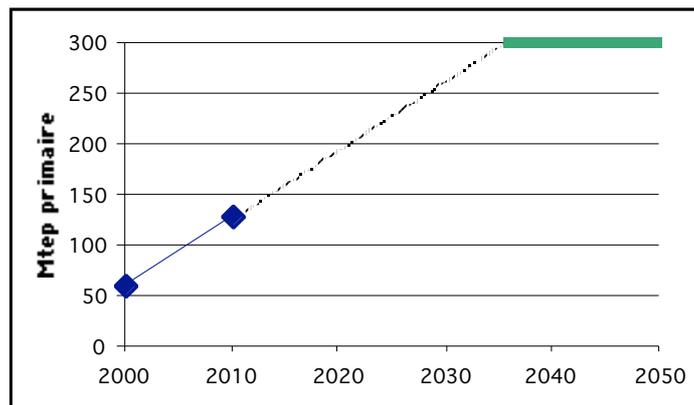
3.3 Union Européenne des 15

Pour l'Union Européenne, l'IEA fait état d'une production actuelle de 59 Mtep.

Le potentiel supplémentaire est estimé à 240 Mtep, réparti entre 62 Mtep de biogaz (dont 26 Mtep de lisiers et fumiers et 22 Mtep de pailles), et 181 Mtep par voie thermochimique.

Rappelons que l'objectif fixé par le Livre Blanc pour l'horizon 2010, est de 90 Mtep supplémentaires, dont 18 Mtep de biocarburants, soit 72 Mtep à comparer au potentiel calculé ici pour le long terme.

Le graphique ci-dessous indique la situation actuelle, l'objectif de l'Union Européenne pour 2010, et le potentiel « long terme » calculé ici.



3.4 Etats-Unis d'Amérique

Pour les USA, la consommation actuelle est de 64 Mtep. Le potentiel supplémentaire est estimé à 370 Mtep, dont 84 Mtep de biogaz et 290 Mtep par voie thermochimique (dont 220 Mtep provenant des forêts non exploitées).

3.5 Chine et Inde

En Chine comme en Inde, la consommation actuelle de bioénergies est importante (respectivement 179 et 111 Mtep¹), et le potentiel supplémentaire est équivalent (190 et 111 Mtep), dont l'essentiel par méthanisation (125 et 111 Mtep), principalement à partir des résidus de récolte et des déjections d'élevage. La biomasse est susceptible, en théorie, de couvrir entre les deux-tiers et la totalité des besoins d'électricité et de chaleur de ces pays.

¹ Soit respectivement le tiers et la moitié de la consommation finale de combustibles et d'électricité

	France	UE15	USA	Chine	Inde
Production actuelle de biomasse, énergie primaire	12	59	64	179	111
dont biogaz	0,19	2,7	2,9	4,2	1,5
Potentiel supplémentaire de biomasse, énergie primaire	43	243	374	189	104
dont biogaz	15	62	84	125	89
Ressource totale biomasse, énergie primaire	54	303	438	368	215
dont biogaz	15	65	87	129	91
Consommation finale actuelle de combustibles et d'électricité	112	623	875	520	205
Consommation primaire actuelle de gaz naturel	38	344	521	21	24

Biogaz / biomasse	27%	22%	20%	35%	42%
Biomasse / conso. finale combustibles et électricité	48%	49%	50%	71%	105%
Biogaz / conso. finale combustibles et électricité	13%	10%	10%	25%	44%
Biogaz / conso. primaire gaz naturel	39%	19%	17%	617%	382%

3.6 Conclusion sur le potentiel biogaz

Le potentiel représenté par le biogaz se situe à environ 10 % de la consommation actuelle de combustibles et d'électricité (hors carburants) dans les pays industrialisés (France, UE15, USA), le quart pour la Chine, et la moitié pour l'Inde (aux niveaux de la consommation actuelle).

Le biogaz représente environ le quart du potentiel énergétique total de la biomasse dans les pays industrialisés, et près de la moitié pour la Chine et l'Inde, où les contraintes d'espace limitent le potentiel issu de la forêt et où le retour au sol de la matière organique doit être privilégié.

Pour les 4 régions étudiées, le potentiel total du biogaz est de 360 Mtep.

À titre de comparaison, la consommation actuelle de gaz naturel est de 900 Mtep en énergie primaire pour ces régions. Le potentiel biogaz représente 4 à 6 fois la consommation primaire de gaz naturel en Inde et en Chine – ce qui signifie que le développement attendu de la consommation de gaz dans ces pays pourrait s'effectuer en grande partie via le biogaz -, et 20 % de la consommation de gaz naturel en Europe et aux Etats-Unis.

Potentiels et facteurs d'émergence de la récupération du biogaz et des gaz fatals

Rapport Phase 4

N° 02 - 415/1A

SOMMAIRE

1.	LES DÉTERMINANTS DE LA PRODUCTION D'ÉNERGIE ISSUE DE BIOMASSE	5
2.	PROSPECTIVES ÉNERGÉTIQUES	6
2.1.	LES PRÉVISIONS.....	6
2.1.1.	France : Scénarios de la Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières ..	6
2.1.2.	Monde : Agence Internationale de l'Energie (IEA).....	7
2.2.	LES OBJECTIFS	8
2.2.1.	L'Union Européenne	8
2.2.2.	France	9
2.3.	LES SCÉNARIOS PROSPECTIFS	9
2.3.1.	Nouveaux objectifs proposés pour l'UE à l'horizon 2020.....	9
2.3.2.	Potentiel de bioénergies selon l'ADEME, 2003.....	9
2.3.3.	Le scénario RI.....	11
2.3.4.	Le scénario négaWatt.....	12
2.3.5.	Autres études sur le potentiel de bioénergie et de biogaz.....	13
2.4.	PRINCIPALES CONCLUSIONS TIRÉES DE CES PERSPECTIVES	15
2.4.1.	Comparaison des scénarios prospectifs français.....	15
2.4.2.	Comparaison des potentiels biomasse selon différentes source, à moyen-long terme. 15	
2.4.3.	Prospectives européennes et mondiales.....	16
2.5.	LA PLACE DES GAZ DE BIOMASSE	17
2.5.1.	Les usages potentiels.....	17
2.5.2.	Le transport des bioénergies.....	18
3.	POTENTIEL ACCESSIBLE	21
3.1.	BASE DE COMPARAISON	21
3.2.	COÛT DES BIOÉNERGIES	24
3.2.1.	Biomasse brute	24
3.2.2.	Substrat.....	26
3.2.3.	Méthanisation	27
3.2.4.	Transport du biogaz.....	29
3.2.5.	Chaufferie gaz	29
3.2.6.	Chaufferie biocombustible solide.....	30
3.2.7.	Coût de la distribution de la chaleur	30
3.2.8.	Récapitulatif : filière méthanisation agricole	30
3.2.9.	Récapitulatif : filière bois énergie	31
3.3.	GISEMENTS ACCESSIBLES EN FONCTION DU PRIX DE RÉFÉRENCE DES ÉNERGIES	31
3.3.1.	Filières biocombustibles solides.....	32
3.3.2.	Filières méthanisation.....	33
3.3.3.	Conclusion sur les coûts.....	36
3.3.4.	Potentiel accessible en fonction des coûts.....	38
4.	CONCLUSION	41

FIGURES

Figure 1 : Consommation mondiale d'énergie primaire à l'horizon 2030 (Source : IEA).....	7
Figure 2 : Potentiels des bioénergies selon différentes sources,.....	14
(valeurs en Exajoules converties en Mtep).....	14
Figure 3 : Comparaison des scénarios énergétiques : Production d'énergie primaire à partir des bioénergies à l'horizon 2030 en France (Sources : Henri Prévôt, Compagnie des Négawatts, ADEME).....	16
Figure 4: Prix de l'énergie utile en fonction du prix du baril de pétrole brut (Source : issu de l'Observatoire de l'Energie, "Prix des Energies", indicateurs généraux).....	23
Figure 5 : Cadre de décomposition du coût des bioénergies et de l'énergie fossile.....	24
Figure 6 : Taux de capacité du digesteur FD en fonction du facteur surdimensionnement F et du taux de dilution.....	28
Figure 7 : Prix de la biomasse en €/t et correspondance avec le cours du baril de pétrole en €/baril.....	32
Figure 8 : Rapport L/Q (longueur de la canalisation sur la quantité de substrat) pour différents substrats en fonction du coût du baril de pétrole.....	34
Figure 9 : Potentiel de biomasse accessible en Mtep en fonction du cours du pétrole.....	39
Figure 10 : Potentiel énergétique accessible en Mtep des différents types de substrats de la biomasse sur la base d'un prix du baril de pétrole de 50 €/baril.....	40
Figure 11 : Potentiel énergétique accessible en Mtep des différents types de substrats de la biomasse sur la base d'un prix du baril de pétrole de 75 €/baril.....	40

TABLEAUX

Tableau 1 : Scénario “tendanciel” de la DGEMP de 1999.....	6
(Sources : “Livre Blanc sur les énergies”, Novembre 2003 (séries 1990 et suivantes) ; “L’énergie en France : repères”, MINEFI, 2003 (séries 1973 et 1979)	6
Tableau 2 : Contribution de la biomasse à l’UE (Source : association EREC).....	9
Tableau 3 : Potentiel des bioénergies selon l’ADEME	10
(Source : Débat national sur l’énergie de 2003-2004).....	10
Tableau 4 : Scénario proposé par l’Ingénieur des Mines Henri Prévôt (Source : H. Prévôt, 2003)...	11
Tableau 5 : Valeurs reconstituées à partir des données de H. Prévôt.....	12
Tableau 6 : Scénario négaWatts (Source : Compagnie des négaWatts 2004).....	13
Tableau 7 : Différents scénarios sur le potentiel des bioénergies par plusieurs organismes et entreprises travaillant dans le domaine de l’Energie	13
Tableau 8 : Solde Production/Consommation de bioénergies en zones urbaines et rurales.....	18
Tableau 9 : Coût énergétique de transport de la biomasse par véhicules.....	19
Tableau 10 : Coût du chauffage individuel par chauffage central au fioul ou au gaz.....	21
Tableau 11 : Prix du pétrole importé.....	22
(Source : Observatoire de l’Energie, “Prix des Energies”, indicateurs généraux).....	22
Tableau 12 : Prix pour l’usager.....	22
(Source : Observatoire de l’Energie, “Prix des Energies”, indicateurs généraux).....	22
Tableau 13: Prix des énergies pétrolières.....	22
(Source : issu de l’Observatoire de l’Energie, “Prix des Energies”, indicateurs généraux)	22
Tableau 14 : Décomposition du prix du pétrole.....	23
(Source : issu de l’Observatoire de l’Energie, “Prix des Energies”, indicateurs généraux)	23
Tableau 15 : Coût de la biomasse brute et potentiel de production d’énergie en Mtep/an.....	25
Tableau 16 : Répartition de la biomasse agricole collectable (Source : estimations SOLAGRO).....	26
Tableau 17 : Coût de l’énergie utile Cs en €/MWh utile en fonction du coût du substrat et de la quantité de biogaz valorisé	27
Tableau 18 : Coût global d’un réseau de transport du gaz.....	29
Tableau 19 : Coût global d’une chaufferie gaz.....	29
Tableau 20 : Exemple de coûts observés sur une chaufferie bois	30
Tableau 21 : Coût global de la distribution de chaleur.....	30
Tableau 22 : Biomasse de bois mobilisable en Mtep en fonction du coût de mobilisation en €/t et correspondance avec le coût du baril de pétrole €/baril.....	32
Tableau 23 : Valeurs des variables a et b (n et t = 80 %) pour différents types de substrats et coût du baril de pétrole minimal équivalent à une utilisation de la biomasse sur place.....	34
Tableau 24: Longueur maximale de canalisations gaz à créer en km en fonction de la quantité de substrats traités et du cours du pétrole.....	35
Tableau 25 : Fraction de biomasse mobilisable en fonction du cours du pétrole.....	38

1. Les déterminants de la production d'énergie issue de biomasse

L'essentiel de la biomasse utilisée pour l'énergie provient de sources "fatales", terme incluant les résidus d'exploitation forestière et des espaces boisés non forestiers (le bois-bûche est un sous-produit de l'exploitation forestière ou de l'entretien des haies), des déchets et effluents.

La biomasse "dédiée" à l'énergie, comme les cultures ligno-cellulosiques, les cultures énergétiques, représentent de faibles quantités. Seuls les taillis traditionnels représentent une contribution importante.

Une grande partie du potentiel supplémentaire devrait provenir de la valorisation énergétique des sources "fatales".

Les principaux déterminants pour la valorisation énergétique de la biomasse peuvent être résumés ainsi :

- 1) La nécessité de traiter les déchets et d'améliorer la qualité de l'eau et de l'air, incitent au traitement des déchets et résidus, qui peuvent être traités par une technique productrice d'énergie ou non.
- 2) La nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre et les consommations d'énergies non renouvelables.
- 3) Le renchérissement annoncé des ressources fossiles, la sécurité d'approvisionnement en énergie.
- 4) La volonté de développer les ressources locales et de créer des emplois et d'une façon générale de susciter des dividendes complémentaires.

Le point 1 relève de la problématique du traitement des déchets ; il a été largement abordé au cours des étapes précédentes de cette étude.

Le point 2 est évoqué dans le chapitre ci-dessous, qui donne un aperçu de la place des bioénergies et des gaz de biomasse en particulier, selon différentes visions prospectives en matière d'énergie.

Le point 3 est abordé au chapitre suivant : si l'on résume la question du potentiel biomasse à une notion de compétitivité avec les énergies fossiles, l'analyse proposée permet de définir différents niveaux économiques de mobilisation.

Le point 4 ne sera pas abordé dans cette étude. Il relève d'analyses de type "analyse de cycle de vie", nécessitant une étude à part entière par filière.

2. Prospectives énergétiques

2.1. Les prévisions

En matière de prospective énergétique, les scénarios de type prédictifs sont bâtis sur l'hypothèse d'absence de mesures nouvelles dans le domaine de l'énergie. Il s'agit de scénarios dits "tendanciels", ou "sans mesure additionnelle", supposés se réaliser si les évolutions actuelles se poursuivent sans modification.

2.1.1. France : Scénarios de la Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières

Le scénario dit "tendanciel" de la DGEMP, cité en annexe du Livre Blanc sur l'énergie, date de 1999.

Tableau 1 : Scénario "tendanciel" de la DGEMP de 1999
(Sources : "Livre Blanc sur les énergies", Novembre 2003 (séries 1990 et suivantes) ; "L'énergie en France : repères", MINEFI, 2003 (séries 1973 et 1979))

Mtep	1973	1979	1990	2000	2010	2020
Consommation d'énergie primaire	180	193	225,2	264,6	304,7	331,6
Combustibles solides	28	32	19,0	14,2	10,4	11,0
Produits pétroliers	121	114	86,9	91,6	109,7	123,9
Gaz	13	21	25,1	35,6	59,7	82,4
Electricité	8	17	82,8	108,5	113,5	101,8
Energies renouvelables	9	9	11,4	11,9	11,4	12,5
Consommation d'énergie finale	144	151	154,9	175,3	201,8	228,8
Industrie	48	47	38,0	38,8	44,0	48,6
Résidentiel tertiaire	56	57	59,6	66,7	75,1	81,8
Agriculture	3	3	3,1	3,0	3,0	3,0
Transports	26	32	41,8	49,4	60,9	74,3
Sous-total énergétique	133	139	142,5	157,9	183,0	207,7
Non énergétique	11	12	12,4	17,4	18,8	21,1

Selon ce scénario, la consommation de combustibles fossiles passerait de 141 Mtep aujourd'hui, à 217 Mtep en 2020. Les émissions de gaz carbonique passeraient de 100 MtC (moyenne de 1985 à 1995) 150 MtC, soit +50 %.

Pour atteindre l'objectif de division par 4 des émissions de GES à l'horizon 2050 par rapport à 1990, il serait alors nécessaire de réduire les consommations d'énergies fossiles à moins de 35 Mtep¹. Si les consommations non énergétiques étaient stabilisées à 15 Mtep², la consommation finale énergétique des combustibles fossiles devrait être réduite, d'ici 2050, à moins de 20 Mtep.

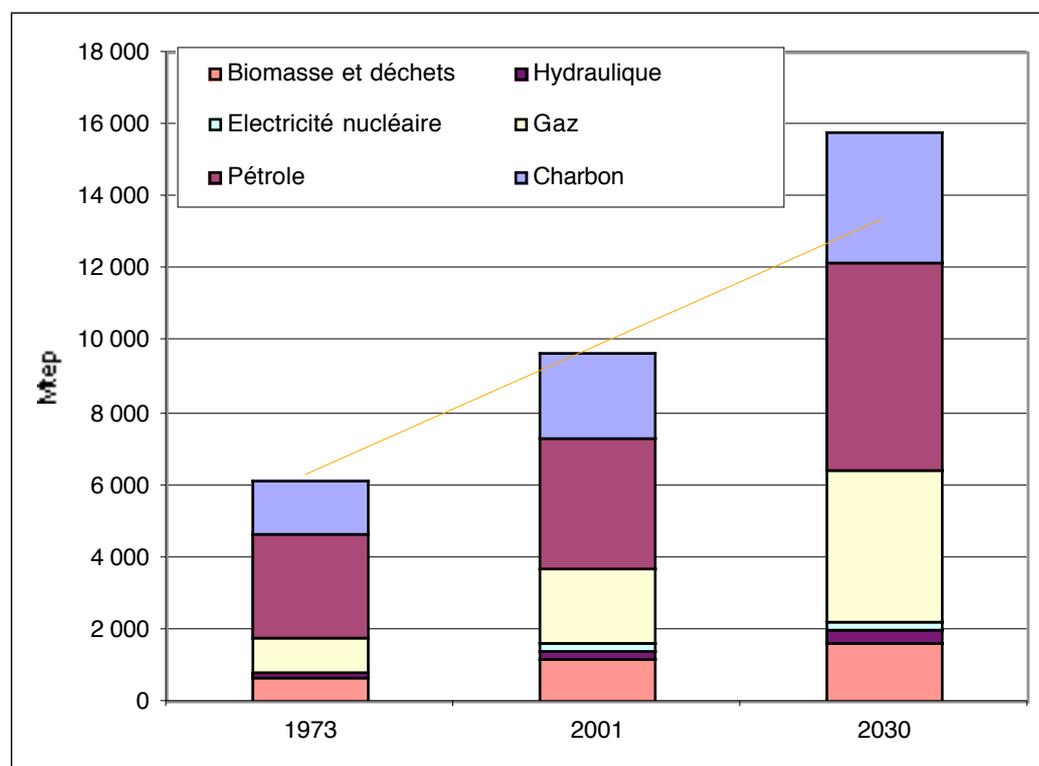
Ces prévisions dites "sans mesures additionnelles" sont sujettes à critique. Le scénario retenu par la DGEMP correspond au scénario le plus haut du Commissariat au Plan.

2.1.2. Monde : Agence Internationale de l'Energie (IEA)

L'IEA prévoit une consommation mondiale primaire d'énergie de 16.300 Mtep à l'horizon 2030 (15.800 Mtep si l'on ne compte que la production brute d'électricité nucléaire et non la production d'énergie nucléaire, chaleur comprise), contre 10.029 Mtep en 2001.

Cependant, si l'on prolonge la tendance observée ces 30 dernières années à l'horizon 2030, la consommation primaire ne serait que de 14.200 Mtep : l'augmentation serait de 4.200 Mtep et non de 6.100 Mtep.

Figure 1 : Consommation mondiale d'énergie primaire à l'horizon 2030 (Source : IEA)



La contribution de la biomasse et des déchets (évaluée à 1.146 Mtep en 2001) passerait à 1.650 Mtep à l'horizon 2030 (+40 %), mais sa part relative décroît (de 11 à 10 %) compte tenu d'une hausse plus forte de la consommation d'énergie primaire.

¹ Les émissions diffuses de N₂O et CH₄ sont difficilement compressibles, ce "facteur 4" ne peut leur être appliqué. La moindre teneur en carbone des énergies fossiles (plus de gaz, moins de pétrole), les puits de carbone comme le stockage de CO₂, offrent des possibilités de réduction des émissions de GES. Mais en première approche, la division par 4 des émissions de GES aboutit bien à une division par 4 des émissions de CO₂ d'origine fossile.

² Déduction faite de la part susceptible d'être fournie par la biomasse, estimée par l'ADEME à près de 2 Mtep.

2.2. Les objectifs

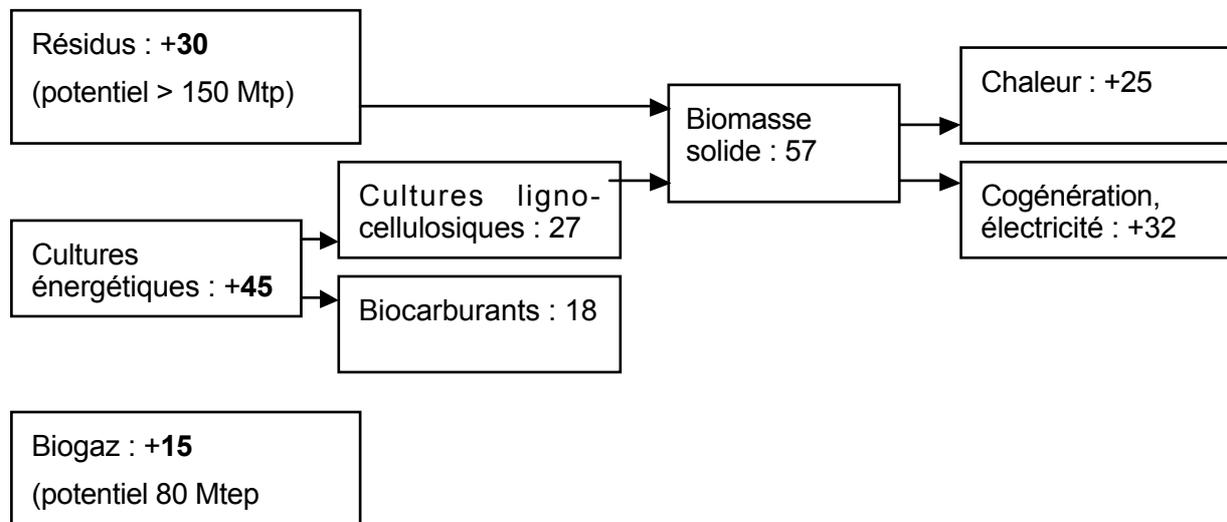
2.2.1. L'Union Européenne

□ Livre Blanc, 1997

L'Union Européenne a fixé un objectif de produire 12 % de sa consommation d'énergie à partir de sources renouvelables à l'horizon 2010³.

Le Livre Blanc rappelle que la biomasse représente 45 Mtep en 1995 et propose un objectif indicatif de 135 Mtep d'ici 2020. La production d'électricité ex-biomasse passerait de 22,5 à 230 TWh.

Le potentiel supplémentaire de biomasse (+90 Mtep, soit un total de 135 Mtep primaires) est résumé par le graphique ci-dessous, tel qu'indiqué dans le Livre Blanc.



□ Directive électricité renouvelable, 2001

La Directive e-SER sur les sources d'électricité renouvelables assignent un objectif de 21 % pour la production brute d'électricité⁴.

□ Directive biocarburants, 2003

La Directive sur les biocarburants fixe un objectif de 5,75 % de la consommation des carburants (essence et gazole) pour les transports à la même échéance⁵.

□ Directive chaleur, en cours

Une directive sur la chaleur issue d'énergie renouvelable est en cours d'élaboration. La chaleur représente en effet le plus important poste de consommation d'énergie finale dans l'Union Européenne, mais ne bénéficie pourtant d'aucune disposition similaire à celles adoptées pour l'électricité et les carburants.

³ COM(97) 599 final "Energy for the future - renewable sources of energy" : White Paper. europa.eu.int/comm/energy/res/legislation/index_en.htm

⁴ Directive e-SER : europa.eu.int/eur-lex/pri/en/oj/dat/2001/l_283/l_28320011027en00330040.pdf

⁵ COM 2003/30/CE, Mai 2003 : europa.eu.int/comm/energy/res/legislation/doc/biofuels/fr_final.pdf

2.2.2. France

L'objectif de division par 4 des émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050, selon les déclarations du Président de la République et du Premier Ministre, ne sont pas encore traduits en scénarios officiels.

Les objectifs nationaux sont conformes au protocole de Kyoto via les Directives européennes pré-citées adoptées dans ce sens, avec un horizon à 2010-2012.

2.3. Les scénarios prospectifs

2.3.1. Nouveaux objectifs proposés pour l'UE à l'horizon 2020

De nouveaux objectifs ont été proposés à l'Union Européenne par l'association EREC, qui regroupe des professionnels des énergies renouvelables en Europe.

Celle-ci propose de porter la contribution de la biomasse dans l'UE à 282 Mtep à l'horizon 2020⁶ en énergie primaire (205 Mtep en énergie finale).

Tableau 2 : Contribution de la biomasse à l'UE (Source : association EREC)

Date	1995	2001	2010	2020
Electricité (TWh)	22,5	39,2	141	282
Electricité (GW)	-	2,6	18,3	45,3
Chaleur (Mtep)	37	42,9	70	100
CO ₂ évité (MtCO ₂)			176	326
Emplois (nombre)			338.000	528.000
Période			2001-2010	2010-2020
Investissements (G€)			44	45
Coûts évités (G€)			17 - 43	63 - 160

L'association EUBIA, membre d'EREC et qui réunit des organisations spécialisées dans le domaine de la biomasse, indique un potentiel de 400 Mtep pour 2050.

L'étude ne précise pas la contribution par pays.

L'objectif proposé pour 2020 correspond à une multiplication par 4 ou 5 de la contribution de la biomasse. Extrapolé à la France (11 Mtep en production primaire), le potentiel obtenu serait de l'ordre de 40 à 50 Mtep.

On obtient le même ordre de grandeur si l'on fait le calcul au prorata des surfaces (55 Mha en France, soit 17 % des 324 Mha de l'UE des 15).

2.3.2. Potentiel de bioénergies selon l'ADEME, 2003

Source : Débat national sur les énergies, contribution de l'ADEME.

L'ADEME évalue à 14 Mtep le potentiel supplémentaire de bioénergies, usages non énergétiques (chimie) compris, soit un total de 25 Mtep à l'horizon 2050.

⁶ Conférence "Energie Intelligente pour l'Europe", BERLIN, Janvier 2004. http://www.erec-renewables.org/documents/Berlin_2004/targets/EREC_Targets_2020_def.pdf

Les chiffres indiqués ont été convertis ici par nos soins en millions de tonnes de matières organiques.

Le potentiel supplémentaire provient de +3 MtMO de plaquettes forestières, +1 MtMO de DIB de bois, +2 MtMO de pailles, +3,4 MtMO de déchets par incinération et +2,5 MtMO de déchets par méthanisation.

À ce gisement s'ajoutent 4 MtMO de biocarburants⁷, 10 MtMO de cultures ligno-cellulosiques et 4 MtMO de cultures pour la chimie, soit 18 MtMO mobilisant 4 Mha de cultures.

Tableau 3 : Potentiel des bioénergies selon l'ADEME
(Source : Débat national sur l'énergie de 2003-2004)

		2000	2010	2020	2050			2000	2010	2020	2050
FILIERE BOIS	Mtep	10	11	12,5	13	MtMO	20	22	25	26	
Total	Mm ³	40	44	49	51						
<i>(Récolte filiere bois)</i>	<i>Mm³</i>	<i>50</i>	<i>55</i>	<i>65</i>	<i>70</i>	<i>MtMO</i>	<i>25</i>	<i>28</i>	<i>33</i>	<i>35</i>	
Bois-bûche	Mm ³	35	35	35	35	MtMO	18	18	18	18	
Plaquettes	Mm ³	0,1	2	4	5	MtMO	0,1	1,0	2	3	
DIB bois	Mm ³	5	6	8	8	MtMO	3	3	4	4	
Pailles	Mm ³	0	1	2	3	MtMO	0,0	0,5	1,0	2	
DECHETS	Mtep	0,45	1,2	2	3	MtMO	1,1	3	5	7	
Bioincinération	Mtep	0,3	0,9	1,5	2	MtMO	0,6	2	3	4	
Méthanisation	Mtep	0,15	0,3	0,5	1	MtMO	0,5	1,0	2	3	
CULTURES	Mtep	0,4	1,9	3,5	9	MtMO	0,2	1,0	2	5	
Total	Mha	0,5	1,2	1,9	4,2						
Biocarburants	Mtep	0,3	1,7	2	2	MtMO	0,2	0,9	1,0	1,0	
Biocarburants	Mha	0,35	1	1,2	1,2						
tCR	Mtep	0	0	1	5	MtMO	0,0	0,0	0,5	3	
tCR	Mha	0	0	0,2	1						
Chimie	Mtep	0,1	0,2	0,5	2	MtMO	0,1	0,1	0,3	1,0	
Chimie	Mha	0,1	0,2	0,5	2						
Total	Mtep	11	14	18	25	MtMO	21	26	31	37	

On note que :

- Ce potentiel est considéré comme exploitable au delà de 50 \$/baril, cours admis à l'horizon 2050. Aucune indication n'est donnée sur le potentiel physique.
- Ces chiffres sont sensiblement inférieurs aux résultats de la présente étude.
- De nombreux gisements semblent non pris en compte. N'apparaissent pas en effet, de manière explicite, les liqueurs noires, les connexes de scierie, les effluents industriels.
- Surtout, le potentiel de biomasse agricole repose ici exclusivement sur les cultures dédiées, le potentiel "paille" étant compté à 3 MtMO seulement pour des raisons agronomiques.

⁷ La correspondance 1 tep= 2 tMO n'est correcte que pour les produits à forte teneur en glucides et protéines. Pour les lipides, comme les huiles végétales, le ratio est plus proche de 1 pour 1.

Le gisement de 1 Mtep pour la filière méthanisation est extrêmement bas : à notre connaissance, il n'apparaît dans aucune étude de "potentiel biogaz". Il est probablement cité ici "pour mémoire".

2.3.3. Le scénario RI

Le scénario RI, proposé par l'ingénieur des Mines Henri Prévôt, vise à diviser par 3 les émissions de GES d'ici 2030. Une première version a été publiée dans la revue des Annales des Mines, Août 2003, des modifications ont été apportées depuis.

Tableau 4 : Scénario proposé par l'Ingénieur des Mines Henri Prévôt (Source : H. Prévôt, 2003)

	Charb.	Prod. Pétrol.	Gaz	Elec. Prim.	Solaire chauffage	Biomasse chauffage	Biogaz	Biocarb. cultures	Total	dont biomasse
Industrie, agriculture	3	1	11	18		6	2	0	41	8
Transports		14	1	8				22	45	22
Résidentiel tertiaire :										0
- chauffage		2	9	20	3	15	1	0	50	16
- électricité spécifique				15					15	0
Total énergie finale	3	17	21	61	3	21	3	22	151	46
Consom. pour production d'électricité	1		7						8	
Total consommation	4	17	28							
Émissions CO₂ en MtC	4	15	19						38	

Ce scénario se caractérise par :

- la stabilisation de la demande finale au niveau actuel ;
- le recours à l'électricité pour le chauffage, avec une forte progression de l'électricité nucléaire ;
- le développement de la biomasse, pour le chauffage et les transports : la consommation d'énergie finale est de 46 Mtep (correspondant vraisemblablement à 52 Mtep en énergie primaire) ;
- une consommation d'énergies fossiles de 49 Mtep⁸.

Concernant la biomasse, les hypothèses sont les suivantes :

- 100 Mm³ de bois (25 Mtep primaires) supplémentaires issus de la forêt, par récupération des rémanents, plantation de taillis à courte rotation et l'amélioration de surfaces existantes ;
- 10 Mt de résidus agricoles ;
- 5 Mha en cultures énergétiques.

⁸ L'auteur ne comptabilise pas les consommations de la branche énergie, hors filière électrique. La consommation est primaire réelle peut être estimée à environ 53 Mtep.

L'auteur conclut à la nécessité de produire des carburants à partir de biomasse. En effet, malgré un recours massif à l'électricité pour les transports (8 Mtep contre 1 actuellement), les transports consomment 37 Mtep de carburants.

Les usages stationnaires (appoint chauffage, process industriels...) consomment 34 Mtep.

L'objectif étant de réduire la consommation de fossiles à 49 Mtep, il reste $49 - 34 = 15$ Mtep de carburants fossiles pour les transports.

La biomasse doit donc assurer le solde, soit $37 - 15 = 22$ Mtep.

Ceux-ci sont fournis par 13 Mtep de biocarburants liquides, et par 9 Mtep de carburants de synthèse, obtenus par gazéification de 66 Mm^3 de bois (17 Mtep primaires) et synthèse du gaz par réaction de Fischer-Tropsch.

Tableau 5 : Valeurs reconstituées à partir des données de H. Prévôt

	Mha				MtMO	Mtep primaire	Mtep finale	Chaleur	Carburants
Biomasse énergie actuelle						11	10	10	
Rémanents forestiers				30	Mm^3	15	8		
TCR	2,5	20	$\text{m}^3/\text{ha}/\text{an}$	50	Mm^3	10	13		
Amélioration cultures	3,0	6,7	$\text{m}^3/\text{ha}/\text{an}$	20	Mm^3	10	5		
Total bois énergie				100		36	26	18	9
Résidus agricoles				10	Mt	5	3	3	
Cultures	5	2,5	tep/ha				13	13	13
Total						52	43	21	22

2.3.4. Le scénario négaWatt

Le scénario négaWatt est proposé par la Compagnie des Negawatts, associations d'experts indépendants.

Ce scénario se caractérise par :

- la diminution de la demande finale par des actions volontaristes de maîtrise de l'énergie : par rapport à un scénario "tendancier", le scénario des négaWatts table sur une diminution des consommations (notamment pour le chauffage des bâtiments et des véhicules) ;
- le recours aux renouvelables (biomasse, éolien, solaire, etc...) : 82 Mtep d'énergie primaire en 2050 ;
- des technologies existantes : les hypothèses adoptées consistent à généraliser, à l'horizon 2050, les meilleures techniques et pratiques disponibles ;
- le développement de la biomasse, pour le chauffage et les transports : la consommation d'énergie primaire est de 45 Mtep ;
- la consommation d'énergies fossiles est de 47 Mtep.

Tableau 6 : Scénario négaWatts (Source : Compagnie des négaWatts 2004)

Energie primaire	Charbon	Pétrole	Gaz	Uranium	ER	Elec.	Biomasse	Autres ER	TOTAL
Disponibilités primaires par sources	1	23	23	0	23	45	14		129
Branche énergie	CMSL ⁹	Carburants	Gaz	Electricité	Chaleur	Biomasse	Autres ER	TOTAL	ER
Branche énergie	19	-22	17	-10	-28	39	7	20	
Transformation, raffinage	19	-22	-6	0	0	13	0	3	
Centrales électriques	0		21	-14	-18	12	6	7	
Chaufferies urbaines					-10	10	2	1	
Autoconsommations, pertes	0	0	0	4	0	4	0	9	
Consommation finale énergétique	CMSL	Carburants	Gaz	Electricité	Chaleur	Biocomb ¹⁰ .	Autres ER	TOTAL	ER
TOTAL	5	22	5	33	28	6	7	110	
Résidentiel	2	-	2	11	11	3	3	31	
Tertiaire	1	-	1	6	5	1	1	16	
Industrie Agriculture	2	-	2	14	11	3	3	34	
Transports	-	22	2	3	-			28	

2.3.5. Autres études sur le potentiel de bioénergie et de biogaz

De nombreuses études ont été réalisées sur le potentiel des bioénergies.

Un inventaire¹¹ des études de potentiels mondiaux¹¹ donne des potentiels (en dehors des scénarios extrêmes) de 2 à 3.000 Mtep à l'horizon 2025, et de 4 à 6.000 Mtep à l'horizon 2050, voire 8.000 Mtep.

Tableau 7 : Différents scénarios sur le potentiel des bioénergies par plusieurs organismes et entreprises travaillant dans le domaine de l'Energie

EJ ¹²	Date	2001	2025	2050	2100
IEA		50			
Shell	1996		85	200 à 220	
IPCC	1996		72	280	320
Greenpeace	1993		114	181	
Johansson et al.	1993		145	206	
CME	1993		59	94 à 157	132 à 215
Dessus et al.	1992		135		
Lashof & Tirpak	1991		130	215	
Fisher & Schrattenholzer	2001			350 à 450	

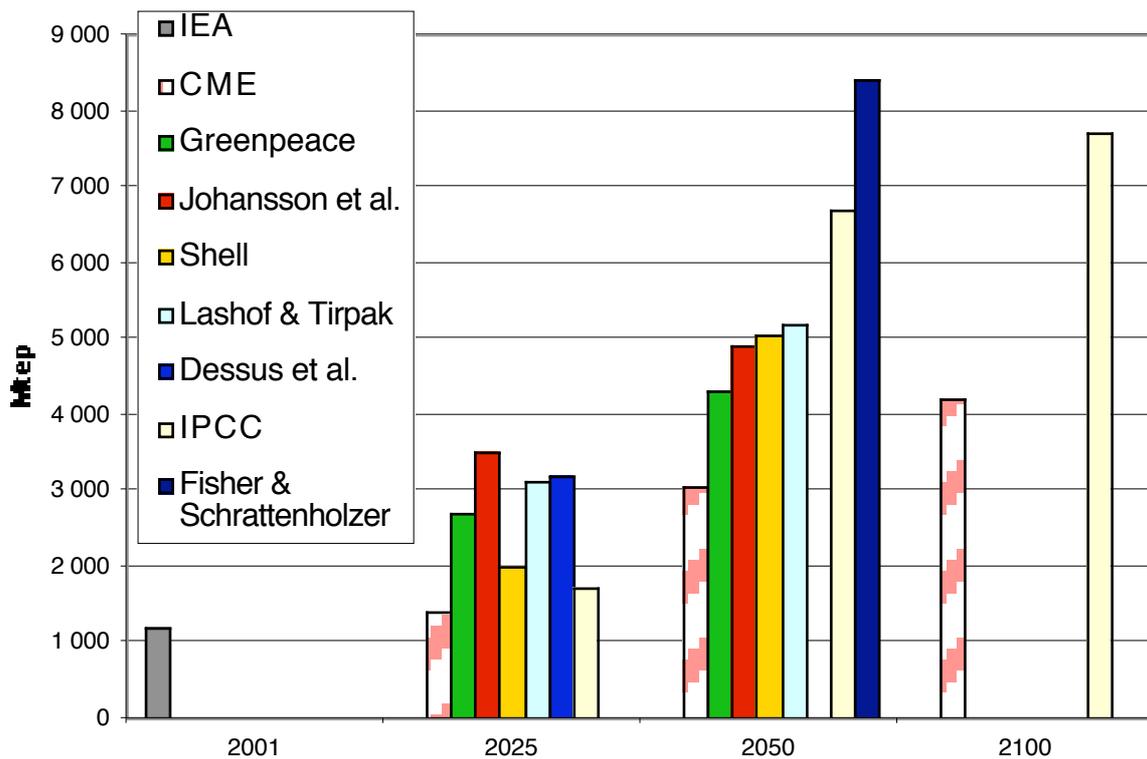
⁹ Combustibles minéraux solides (charbon) et liquides (produits pétroliers).

¹⁰ Biocombustibles utilisés directement par le consommateur final.

¹¹ "Bioenergy options in Europe", Josef Spitzer, Joanneum Research Institute, Graz. Congrès bioénergies, Budapest, Oct. 2003. ftp://ftp.cordis.lu/pub/sustdev/docs/energy/bioenergy_plenary_1110_spitzer.pdf

¹² 1 Exajoule = 10¹⁸ Joule. Multiplier par 24 pour passer en Mtep.

Figure 2 : Potentiels des bioénergies selon différentes sources,
(valeurs en Exajoules converties en Mtep)



Un autre inventaire de scénarios de prospectives énergétiques donne d'autres valeurs¹³ :

	Renewable global energy scenario (RIGES)	Intensive Environmentally Compatible Scenario	Fossil-Free Energy Scenario (FFES)
Auteurs	Johansson & al.	IIASA	Lazarus et al. Stockholm Environment Institutes.
Date	1992		
Présentation	Conférence de Rio		Greenpeace International's study of global energy warming
Horizon	2050	2030	2030
Contribution biomasse		62 EJ	91 EJ
Part consommation primaire	sur 40 % combustibles 17 % électricité	11,6 %	23 %

¹³ "Biomass energy development and carbon dioxide mitigation options", Hall & Houston, Kings College de Londres. Source : www.uccee.org/CopenhagenConf/hall.htm

2.4. Principales conclusions tirées de ces perspectives

L'objectif ici n'est pas de commenter dans le détail ces essais prospectifs, mais d'en tirer les enseignements pour guider la réflexion sur le rôle de la biomasse, du biogaz et des "gaz fatals" à moyen/long terme.

2.4.1. Comparaison des scénarios prospectifs français

Dans une perspective de division par 4 des émissions de gaz à effet de serre, ou simplement par 3, ces essais prospectifs pour la France s'accordent sur plusieurs points essentiels :

- La **contribution de la biomasse** pour le chauffage des bâtiments est une solution incontournable. Le scénario RI, qui postule une utilisation massive de l'électricité nucléaire pour ces usages, suppose néanmoins une multiplication par 2 (24 Mtep) des usages chaleur de la biomasse.
- Les deux scénarios précisent que le **développement des réseaux de chaleur** est essentiel : l'usage massif des bioénergies est difficilement envisageable à l'échelle individuelle. Le scénario RI suppose que le chauffage électrique se fasse également par réseau de chaleur, car un appoint par des combustibles reste indispensable pour limiter la puissance du parc à créer.
- Dans la mesure où la substitution des produits pétroliers par d'autres sources pour les transports, et où un appoint par les combustibles fossiles reste indispensable pour la fourniture de chaleur ou d'électricité, les scénarios s'accordent sur la nécessité de **réduire au minimum l'utilisation de combustibles fossiles en base pour les applications stationnaires** (chaleur, électricité).
- On notera en particulier que la consommation de gaz diminue à 23 Mtep (nW) à 28 Mtep (RI), contre 36 Mtep actuellement et 60 Mtep en 2010-2020 selon le scénario "tendanciel" de la DGEMP.
- Les deux scénarios aboutissent à une **valeur similaire (45 à 52 Mtep) pour la biomasse**. Celle-ci est très supérieure au chiffre avancé par l'ADEME (25 Mtep). Elle est comparable à l'objectif proposé par EREC, bien que ces trois approches soient totalement indépendantes. En revanche, les scénarios divergent sur la nature des ressources.

2.4.2. Comparaison des potentiels biomasse selon différentes source, à moyen-long terme.

Le graphique ci-après présente les potentiels biomasse selon les différentes études présentées pour la France.

Les termes ne sont pas strictement équivalents : le potentiel "résidus de culture" est limité à la combustion dans RI, alors que nW ajoute la méthanisation. La "biomasse forestière" de nW inclut les potentialités des taillis à courte rotation. Les "déchets" de nW comprennent l'ensemble des résidus solides et liquides générés par les ménages et les entreprises. Le "biogaz" de l'ADEME englobe probablement les déchets solides et liquides, y compris les déjections d'élevage.

Ces chiffres proviennent d'approches différentes : RI et nW sont des exercices prospectifs, la place de la biomasse est un paramètre permettant d'atteindre les objectifs fixés (diviser les émissions de GES).

Le scénario RI est basé sur une mobilisation forte de la biomasse forestière, notamment par les taillis à courte rotation, et sur la mobilisation de 5 Mha de terres agricoles, chiffre à rapprocher des surfaces labourées (18 Mha actuellement). En revanche, comme les estimations ADEME, RI ignore dans une grande mesure le potentiel de "biomasse fatale" constitué par les déjections d'élevage, les résidus de culture et les déchets municipaux et industriels. Celui-ci est limité à 3-4 Mtep.

À l'inverse, nW est plus modéré sur la ressource forestière et les cultures énergétiques, mais compte un potentiel de 15 Mtep à partir de biomasse fatale.

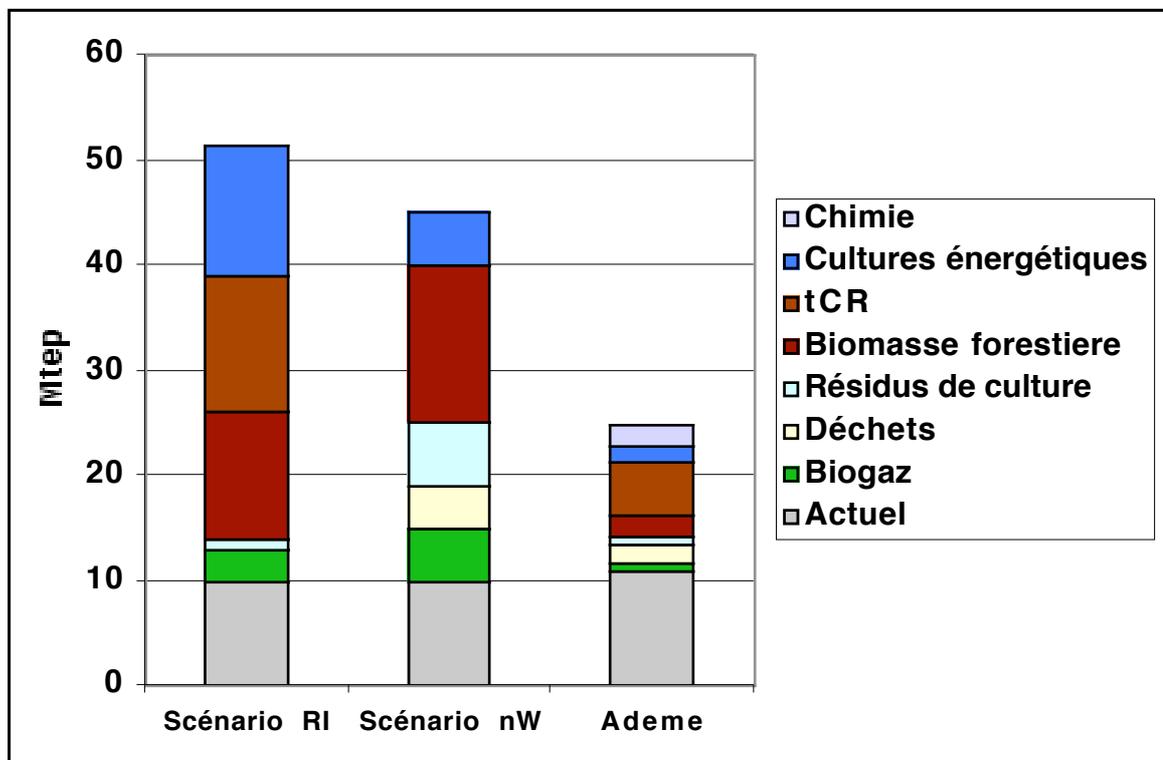
C'est ce gisement de "biomasse fatale" qui fait l'objet de l'essentiel de la présente étude.

Il est acquis que la plupart des filières biomasse, en dehors des usages domestiques du bois énergie, resteront cantonnés dans des niches d'opportunité si le contexte ne change pas : faible prix des énergies fossiles pour les usagers, non prise en compte des impacts sociaux et environnementaux à long terme.

Les spécialistes s'accordent sur le fait qu'en revanche, nombre de ces filières deviennent économiquement compétitives dès lors que le cours du pétrole dépasse 40 ou 50 \$ le baril.

La seconde partie de ce rapport précise le seuil au delà duquel les différents types de potentiels peuvent être mobilisés.

Figure 3 : Comparaison des scénarios énergétiques : Production d'énergie primaire à partir des bioénergies à l'horizon 2030 en France (Sources : Henri Prévôt, Compagnie des Négawatts, ADEME)



2.4.3. Perspectives européennes et mondiales

Toutes les études de potentiel convergent vers les estimations cohérentes :

- La contribution actuelle de la biomasse est de 1.200 Mtep au niveau mondial et de 50 Mtep en Europe (UE 15).
- Le **potentiel mondial envisagé à moyen terme**, vers 2025-2030, est estimé généralement à près de 3.000 Mtep, soit une **multiplication par 2,5**. **A long terme**, à l'horizon 2050, il se situe à près de 5.000 Mtep, soit une **multiplication par 4**.
- Pour l'Union Européenne, le potentiel est estimé à 135 Mtep pour 2010 soit une **multiplication par 3** et à 280 Mtep pour 2020 soit une **multiplication par 5**.

On notera que les facteurs multiplicateurs sont similaires, entre les études de potentiels mondial et européen. En revanche, les dates sont sensiblement différentes : le délai de réalisation de ce potentiel est beaucoup plus court pour les études concernant l'Europe, qui fixent en réalité des objectifs à atteindre, par rapport à celles effectuées au niveau mondial.

Bien évidemment, la réalisation de ces objectifs dépendra des moyens mis en œuvre et du contexte, notamment le cours des énergies fossiles et les mesures qui seront adoptées face au changement climatique. Il est intéressant de constater que le facteur multiplicateur à long terme, quel que soit ce terme, est similaire entre les études pour l'Europe, le Monde et les résultats de la présente étude (France, UE, USA, Chine, Inde).

Cette rapide analyse bibliographique conforte donc les résultats obtenus pour la présente étude.

2.5. La place des gaz de biomasse

2.5.1. Les usages potentiels

Dans une perspective de moyen-long terme, les gaz de biomasse présentent des atouts essentiels.

Ils peuvent en effet être convertis en électricité, carburant ou chaleur et en gaz de réseau.

□ L'utilisation à l'état brut

Les gaz de biomasse sont généralement utilisés à l'état brut, c'est-à-dire faisant l'objet d'un simple pré-traitement, de type déshydratation simple ou désulfuration.

Les usages "classiques" que sont les productions d'électricité et/ou de chaleur ne seront pas détaillés ici. On trouvera des données sur les usages actuels du biogaz en Europe dans la publication "La valorisation du biogaz en Europe", Edition ADEME GDF, réalisé par SOLAGRO avec le soutien du programme européen ALTENER.

De même, le transport de biogaz par canalisations dédiées a fait l'objet d'une récente étude SOLAGRO pour l'ADEME.

□ La transformation en gaz réseau

La transformation de gaz de biomasse en gaz de réseau, nécessite une épuration préalable pour rendre ces gaz conformes aux spécifications du réseau public.

La faisabilité de cette transformation a fait l'objet de controverses, notamment au sujet de gaz de décharge.

La récente Directive européenne sur le gaz de 2003 et la loi de transposition votée par l'Assemblée Nationale, mentionne les gaz de biomasse. La Directive laisse aux états-membres le soin de fixer les spécifications adaptées. Du point de vue juridique, il reste donc une étape à franchir pour permettre l'injection de gaz de biomasse dans les réseaux publics.

Du point de vue technique, il existe différents procédés, mis en œuvre sur plusieurs sites en Europe, dont l'objectif est de produire soit du gaz carburant pour véhicules, soit du gaz naturel en vue de son injection sur le réseau, les technologies étant identiques pour ces deux applications.

Les technologies d'épuration de biogaz d'origine biologique sont connues et maîtrisées.

Pour les gaz de biomasse d'origine thermo-chimique, il n'existe pas à notre connaissance de réalisation récente. Il faut rappeler que le gaz de ville distribuée avant l'arrivée du gaz naturel, était produit par des usines à gaz utilisant les mêmes technologies de gazéification, le produit de départ étant principalement du charbon. Le gaz de synthèse ainsi formé, mélange de CO et H₂, est ensuite transformable en méthane par reformage. Ces technologies sont donc connues, mais restent à développer en taille et situation réelle dans le contexte de notre époque.

2.5.2. Le transport des bioénergies

Les données qui suivent fixent des ordres de grandeur, permettant d'identifier quelques enjeux fondamentaux concernant le transport des bioénergies.

□ Exporter en dehors des zones rurales

Dans une perspective d'utilisation massive des bioénergies, il sera nécessaire de transporter celles-ci des zones rurales et forestières (productrices), vers les zones urbaines (consommatrices).

Pour donner des ordres de grandeur :

- 10 % du territoire métropolitain concentre 70 % de la population, contre 60 % du territoire pour 10 % de la population ;
- la consommation moyenne de combustibles pour usages stationnaires (ce qui correspond à la chaleur, hors carburants et électricité), est de 1 tep par habitant (1,4 tep actuellement, 0,8 à 0,9 tep selon les scénarios RI et nW) ;
- le potentiel de production de bioénergies est de l'ordre de 50 Mtep primaires. Soit en moyenne 91 tep/km² ;
- il est donc possible de calculer le solde entre la production potentielle d'un territoire (91 tep/km²) et sa consommation de combustibles (1 tep/habitant).

Tableau 8 : Solde Production/Consommation de bioénergies en zones urbaines et rurales

Densité	Répartition du territoire	Répartition de la population	km ²	Mhab	hab/km ²	Consommation combustibles usages stationnaires	Production bioénergies	Solde, Mtep
						Mtep	Mtep	
						1 tep/hab	91 tep/km ²	
<i>France</i>	100 %	100 %	550 000	58	106	60	50	-10
Forte	10 %	70 %	55 000	41	743	42	5	-37
Moyenne	30 %	20 %	165 000	12	72	12	15	3
Faible	60 %	10 %	330 000	6	17	6	30	24

Le "solde" pour les zones rurales à faible densité, est de +24 Mtep, qu'il sera donc nécessaire d'exporter vers les zones urbaines (solde de -37 Mtep).

Cette exportation peut s'effectuer par différents moyens, par exemple :

- la transformation en carburant liquide (biocarburants, carburant de synthèse à partir des produits ligno-cellulosiques) ;
- l'exportation par réseau électrique, mais avec des rendements moyens (30 à 40 %) si la chaleur n'est pas valorisée (cogénération) ;
- le transport par véhicule (camion, rail, voie d'eau) ;
- l'exportation par réseau gaz.

Selon les scénarios, le "solde" exportateur, hors carburants liquides, des zones rurales serait de 8 à 19 Mtep¹⁴.

¹⁴ Ces valeurs tiennent compte d'une part minimale de 20 % des consommations en zone à faible densité, couvertes par un appoint par combustible fossile. Ce solde exportateur est d'autant plus élevé que les consommations sont faibles.

□ Le coût énergétique de transport de la biomasse par véhicules

Le coût énergétique du transport de la biomasse par véhicule est de l'ordre de 1 MJ/t.km.

Par exemple, un camion de 20 tonnes consommant 50 litres sur 100 km, soit $50 \text{ l} \times 35 \text{ MJ/l} = 1755 \text{ MJ}$, consomme 88 MJ par tonne, ce qui représente (en énergie primaire en tenant compte du raffinage) 100 MJ de pétrole par tonne pour 100 km. Si le camion revient à vide (hypothèse maximaliste), la dépense d'énergie est de 2 MJ/t.km.

Cette consommation est à rapporter au potentiel énergétique de la biomasse (énergie utile électrique ou thermique, déduction faite des pertes et autoconsommations), qui dépend de la nature de la ressource, du process de transformation.

Pour des écorces humides, le PCI est de 10.000 MJ/tonne. Brûlée en chaudière avec un rendement modeste de 70 %, la tonne d'écorce fournira 7.000 MJ de chaleur par tonne. La dépense d'énergie représente donc 0,3 kJ/MJ par km.

Ce ratio dépend bien entendu du potentiel énergétique de la biomasse.

On peut également calculer une "distance maximale"¹⁵ correspondant à une dépense en transport de 20 % du potentiel énergétique de la biomasse.

Tableau 9 : Coût énergétique de transport de la biomasse par véhicules

Type de biomasse	Potentiel énergétique, MJ/tonne	Ratio R ¹⁶ kJ/MJ par km	Distance maximale "20 %" D20 km
Lisier (méthanisation)	500	6	35
Fumier (méthanisation)	2.000	1,4	140
Bois (combustion)	14.000	0,2	1.000

$$R \text{ [kJ/MJ/km]} = 2000 / PE / n$$

Avec :

- R = ratio en kJ/MJ/km
- PE = potentiel énergétique (énergie primaire) en MJ/tonne
- N = rendement énergie utile / énergie primaire

$$Dx \text{ [km]} = \{x\% \} \times 1000 / R = \{x\% \} \cdot PE \cdot n / 2$$

□ Le coût énergétique de transport de la biomasse par le réseau gazier

Ce coût correspond aux dépenses de compression du gaz. Le réseau de transport du gaz longue distance est opéré à une pression de l'ordre de 50 bar, ce qui permet de transporter le gaz sur plusieurs centaines de kilomètres.

À titre d'information, la puissance électrique installée des stations de recompression de gaz en France est de 633 MW (source : GDF) pour 523 TWh PCS consommés en 2002. La consommation maximale d'électricité est donc de 5,5 TWh pour un fonctionnement permanent, en réalité probablement moins de 3 TWh, soit moins de 0,4 kWh pour 100 kWh PCS de gaz transporté.

¹⁵ Il s'agit bien d'un rayon de collecte, qui prend en compte un retour à vide. Cette valeur est à diviser par deux si le retour est en charge.

¹⁶ Ce calcul est effectué en considérant un rendement global de valorisation de 70 %.

Un rapide calcul d'ingénierie montre que la compression de gaz de 1 à 50 bar absolu, pour des débits modestes (compresseurs à piston de quelques dizaines de kW) consomme de l'ordre de 1 kWh électriques pour 100 kWh Pci de gaz. Si l'on inclut l'ensemble du process d'épuration et compression, à partir de biogaz brut à pression atmosphérique à du gaz épuré à 50 bar, la consommation spécifique est de l'ordre de 3 kWhe pour 100 kWh PCS.

Cette pression correspond au niveau requis sur les réseaux de transport, en première approximation. Elle permet de véhiculer le gaz sur plusieurs centaines de kilomètres.

En supposant que la distance parcourue soit de 300 km par exemple, ce calcul aboutit à une dépense de **0,1 kJ par km et par MJ**.

Le transport de la biomasse par réseau gazier est donc très peu énergivore par rapport aux autres solutions.

3. Potentiel accessible

L'objectif de ce chapitre est de déterminer une notion de "potentiel accessible" basé sur une notion de compétitivité économique vis-à-vis des combustibles fossiles.

Pour cela, on compare plusieurs situations types - réseaux de chaleur bois ou biogaz - avec une solution de référence consistant en un chauffage central individuel au fioul pour des logements d'habitation.

3.1. Base de comparaison

La base de comparaison adoptée est le chauffage individuel par chauffage central au fioul ou au gaz.

Tableau 10 : Coût du chauffage individuel par chauffage central au fioul ou au gaz

Consommation par logement		15	MWh/logement	
Rendement	80 %	12	MWh utile	
Puissance		15	kW	
Durée marche		1000	h	
Ratio		1,0	MWh/kW	
Investissement		1500	Euro	
Chaudière fioul individuelle		100	Euro/kW	
Annuités	10 %	145	Euro/an	
Entretien	3 %	45	Euro/an	
Annuité + entretien		13	Euro/kW par an	
Annuité + entretien		15,8	Euro/MWh u	
Pétrole	25	Euro/baril	17,4	Euro/MWh f
Raffinage distribution		hors taxes	11,4	Euro/MWh f
Fioul			28,5	Euro/MWh f
Chaleur			35,6	Euro/MWh u
Total			51,4	Euro/MWh

La formule de calcul du coût (en Euro par Mwh utile), en fonction du cours des énergies fossiles (sur la base du pétrole P en € par baril), est :

$$Cf = 30 + 0,85 \cdot P$$

C'est cette formule qui sera utilisée dans la suite de l'étude comme référence pour les énergies fossiles.

Détails de la décomposition des coûts du fioul

Les coûts du fioul se décomposent entre :

- le prix du pétrole brut,
- le raffinage,
- la TIPP,
- le coût de la distribution,
- la TVA.

La TIPP et la TVA sont fixées par le Ministère de l'Economie (varie selon le type de combustible et l'utilisateur).

Le prix du pétrole brut est fourni par les statistiques, de même que le prix du pétrole raffiné importé. La différence donne le coût du raffinage.

Le coût à l'utilisateur est également donné par les statistiques. En déduisant le prix du pétrole, du raffinage et les taxes, on obtient le prix de la distribution.

On considérera en première approche que les coûts de raffinage et distribution sont fixes et que le prix du pétrole brut est susceptible de varier.

Tableau 11 : Prix du pétrole importé
(Source : Observatoire de l'Energie, "Prix des Energies", indicateurs généraux)

	1999	2000	2001	2002	Moyenne
\$/baril	17,5	28,6	24,8	24,9	24,0
Euro/\$	0,939	1,085	1,117	1,062	1,1
Euro/bl	16,4	31,0	27,7	26,4	25
Pétrole brut, Euro 2002/t	125	235	207	194	190
Pétrole raffiné, Euro 2002/t	158	287	255	231	233
Coût imputé au raffinage, Euro/t	33	52	48	37	42,5

Tableau 12 : Prix pour l'utilisateur
(Source : Observatoire de l'Energie, "Prix des Energies", indicateurs généraux)

Fioul	2001	2002	2003	Moyenne
Euro TTC/litre	0,39	0,36	0,42	
Euro TTC/MWh	40	37	43	40,1
Euro HTVA/MWh	34	31	36	33,5

Tableau 13: Prix des énergies pétrolières
(Source : issu de l'Observatoire de l'Energie, "Prix des Energies", indicateurs généraux)

2001	TIPP, Euro/l	kg/l	Euro/kg	tep/t	kWh/litre	Euro/tep	Euro/MWh
Fioul domestique litre	0,0566	0,845	0,067	1,0	9,8	66,93	5,76
Supercarburant	0,59	0,755	0,78	1,1	9,2	744	64,0
Gazole	0,39	0,845	0,46	1,0	9,8	464	39,9
GPL carburant	0,00	0,557	0,00	1,1	7,1	0	0,0

Tableau 14 : Décomposition du prix du pétrole
(Source : issu de l'Observatoire de l'Energie, "Prix des Energies", indicateurs généraux)

Décomposition des prix	Euro/MWh
Brut	16,4
Raffinage	3,7
TIPP	5,8
Distribution	7,7
Total HTVA	33,5
TVA 19,6 %	6,6
Total	40,1

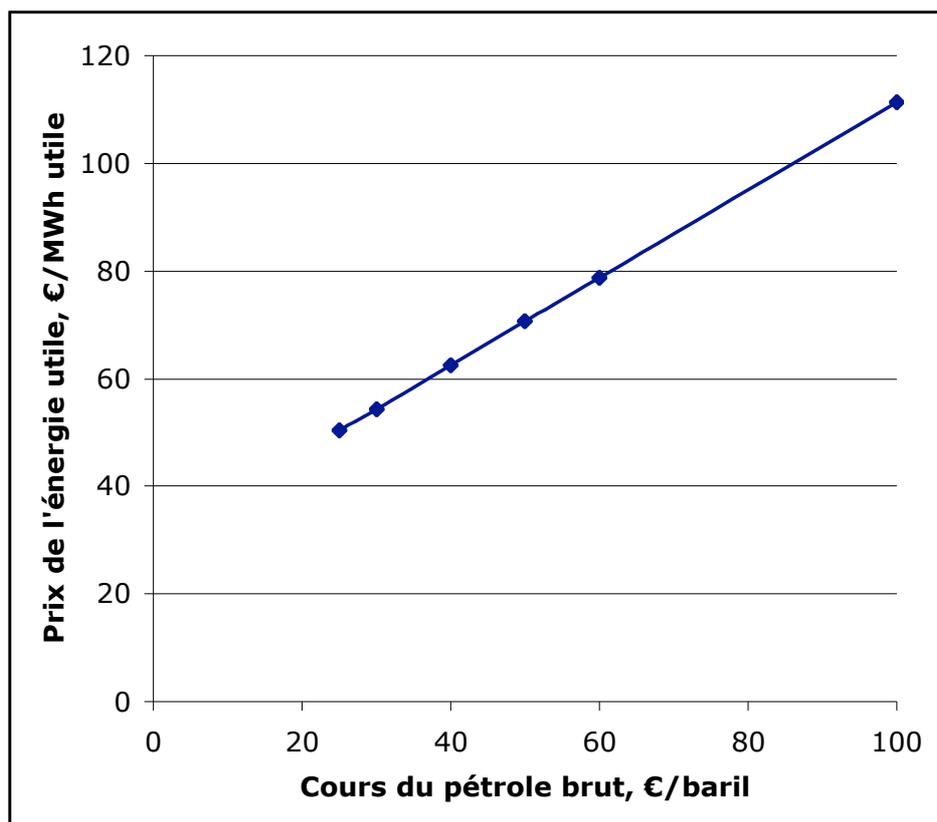
Le prix du pétrole brut est de 16,4 €/Mwh pour un baril à 25 Euro, soit :

Prix pétrole brut = 0,645 x Cours du pétrole en €/baril.

Le prix du raffinage et de la distribution est de 11,4 €/Mwh.

Le prix du fioul hors taxe livré à l'utilisateur final est donc : **Cf = 0,645 x P + 11,4**, en €/Mwh final.

Figure 4 : Prix de l'énergie utile en fonction du prix du baril de pétrole brut
(Source : issu de l'Observatoire de l'Energie, "Prix des Energies", indicateurs généraux)



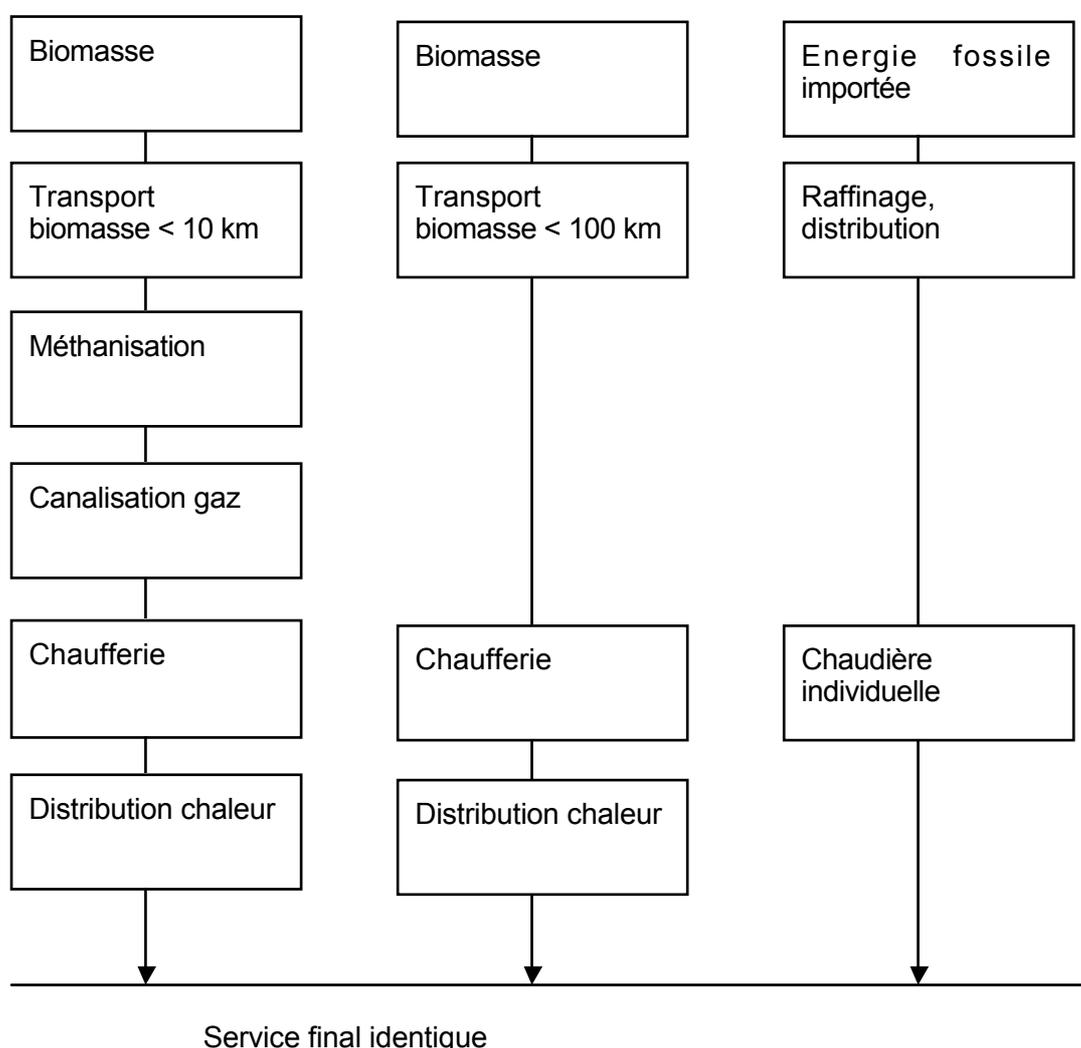
3.2. Coût des bioénergies

Nota : les sources des données chiffrées présentes à partir de ce paragraphe et jusqu'à la fin du rapport (Figures 5 à 11 et Tableaux 15 à 25) sont issues des estimations de SOLAGRO basées pour certaines sur des données des phases précédentes de l'étude.

Le coût des bioénergies se décompose entre :

- le coût de la biomasse brute ;
- le coût de transformation de la biomasse brute en énergie : méthanisation, combustion ;
- le coût de transport de l'énergie (gaz, chaleur) depuis le lieu de production vers la chaufferie ;
- le coût du distribution de la chaleur auprès des usagers par réseau de chaleur.

Figure 5 : Cadre de décomposition du coût des bioénergies et de l'énergie fossile



3.2.1. Biomasse brute

Le tableau ci-après donne les coûts de mobilisation des principaux types de biomasse identifiés dans l'étude, avec le potentiel correspondant.

Il s'agit de valeurs indicatives, les plages de variations pouvant être importantes.

Tableau 15 : Coût de la biomasse brute et potentiel de production d'énergie en Mtep/an

Type	Coût biomasse brute	Potentiel Mtep	Commentaires
Bois de rebut, connexes...	30 €/t	4,4	Référence : bois de rebut stocké en décharge, brûlé sur place, etc... Le surcoût comprend le conditionnement, le stockage, le transport sur moins de 100 km, déduction faite des économies de mise en décharge.
Plaquette de rémanents	50 €/t	5	Référence : résidus d'exploitation forestière (rémanents) et d'espaces boisés non forestiers (élagage, entretien) actuellement laissés sur place. Le coût comprend le broyage sur place, le stockage et le transport sur moins de 100 km, le retour des cendres sur les sols.
Plaquette forestière	70 €/t	14	Référence : taillis non ou mal exploités. Le coût comprend en outre la rémunération du propriétaire forestier et de l'exploitant forestier.
Résidus de culture (paille)	30 €/t	7,3	Référence : pailles de céréales et autres résidus de culture laissés sur place. Le coût comprend la récolte, le stockage à la ferme, le retour du digestat sur les sols agricoles (en méthanisation).
Résidus de culture (paille)	60 €/t	3,2	Référence : pailles de céréales et autres résidus de culture laissés sur place. Le coût comprend la récolte, le stockage en usine, le transport (usine centralisée), la compensation de perte de fertilisants.
Fumier	0 €/t	5	Référence : épandage. Le surcoût est nul voire négatif (désodorisation, amélioration des propriétés agronomiques).
Lisier	0 €/t	1	Référence : épandage. Le surcoût est nul voire négatif (désodorisation, amélioration des propriétés agronomiques).
Déchets municipaux et assimilés, boues et effluents municipaux et industriels	0 €/t	2,4 dont : 1,5 méthanisation 0,9 combustion	Référence : le traitement des déchets étant obligatoire, on considère ici que les modes de traitement producteurs d'énergie (incinération, méthanisation) sont économiquement équivalents aux modes de traitement non producteurs d'énergie (CET, compostage, traitement aérobie). On n'affecte donc pas de coût à la production d'énergie primaire (biogaz, vapeur d'UIOM).

3.2.2. Substrat

Le passage entre le coût du substrat (S en €/tonne) lié à sa mobilisation, pour les résidus de culture non récoltés actuellement et le coût de l'énergie utile (Cs, en €/Mwh utile), s'effectue de la façon suivante :

$$Cs [\text{€/Mwh}] = S [\text{€/t}] \cdot 100 [\text{m}^3\text{CH}_4/\text{Mwh}] / m [\text{m}^3\text{CH}_4/\text{t}] / \text{rendement global}$$

Le rendement global est égal au taux de valorisation t (quantité de gaz valorisée sur quantité de gaz produit) x rendement de la chaudière n.

$$Cs [\text{Euro/Mwh u}] = S \cdot 100 / m \cdot t \cdot n$$

- Cs coût de l'énergie en Euro/Mwh utile.
- m, productivité en méthane en $\text{m}^3 \text{CH}_4$ /tonne de substrat ($P_{ci} = 9,95 \text{ kWh/m}^3$ de CH_4).
- t, taux de valorisation effectif du biogaz : une partie est autoconsommée, une partie peut ne pas être valorisée en fonction de la demande finale en chaleur.

Le coût de l'énergie livrée varie donc de façon inversement proportionnelle à la productivité du substrat et aux taux de valorisation effectif.

La productivité varie entre $15 \text{ m}^3 \text{CH}_4$ /t (lisiers porcins) à $200 \text{ m}^3 \text{CH}_4$ /t (pailles de céréales).

Les écarts sont donc extrêmement significatifs d'une situation à une autre. Le principal facteur d'écart est la productivité, plus que le taux global de valorisation.

La répartition de la biomasse agricole collectable est donnée dans le tableau suivant.

Tableau 16 : Répartition de la biomasse agricole collectable (Source : estimations SOLAGRO)

	MtMb	MtMO	M (m^3CH_4 /t)	€/t	€/MWh
Lisiers	50	2,5	15	0	0
Fumiers	120	20	50	0	0
Résidus de culture	50	36	200	60	30
Total	250	58	73	14	18

La productivité moyenne est de l'ordre de $70 \text{ m}^3\text{CH}_4$ /tonne du substrat brut. Cette valeur est proche de celle des fumiers, qui représentent la majeure partie du potentiel, en tonnage brut.

Le coût de la mobilisation des résidus de culture actuellement non récoltés, est de 30 à 60 €/tonne environ.

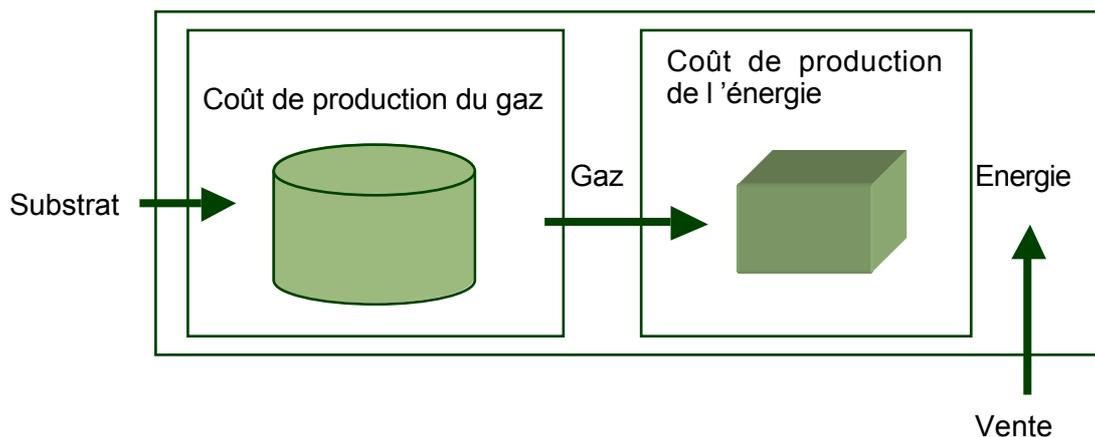
Tableau 17 : Coût de l'énergie utile Cs en €/MWh utile en fonction du coût du substrat et de la quantité de biogaz valorisé

Cs en €/MWh	m (m ³ CH ₄ /t)	S (€/t)	t (% de biogaz valorisé) x n (rendement chaudière)			
			60 %	70 %	80 %	90 %
Lisier, fumier		0	0	0	0	0
Résidus de cultures	200	30	24	21	18	16
Résidus de cultures	200	60	49	42	36	32
Mélange : 40 % résidus + 60 % déjections	100	12	20	17	15	13
Mélange : 40 % résidus + 60 % déjections	100	24	40	34	30	27

3.2.3. Méthanisation

Le coût de la méthanisation est calculé ici pour la biomasse agricole (lisiers, fumiers et résidus de culture).

Les calculs portent sur des unités de biogaz agricole de moyenne capacité, à l'échelle d'une exploitation ou d'un petit groupe d'exploitations.



Le coût de production du biogaz se décompose de la façon suivante :

$$C_m [\text{Euro/Mwh u}] = K_m \cdot I_m \cdot F_D \cdot x \cdot 10 / (m \cdot t \cdot n)$$

Avec

- K_m = facteur annuités (8 %) + facteur exploitation (5 %) 13 %
- I_u = investissement unitaire en Euro/m³ de digesteur : $I_u = 300 \text{ €/m}^3$ de digesteur
- F_D = taux de capacité du digesteur
- M = productivité substrat
- T = taux de valorisation effectif
- N = rendement chaudière

Le taux de capacité du digesteur exprime le rapport entre le volume d'un digesteur fonctionnant en régime permanent avec un temps de séjour classique de 35 jours et un digesteur fonctionnant en régime variable (saisonnalité des apports de substrat) et avec un temps de séjour différent.

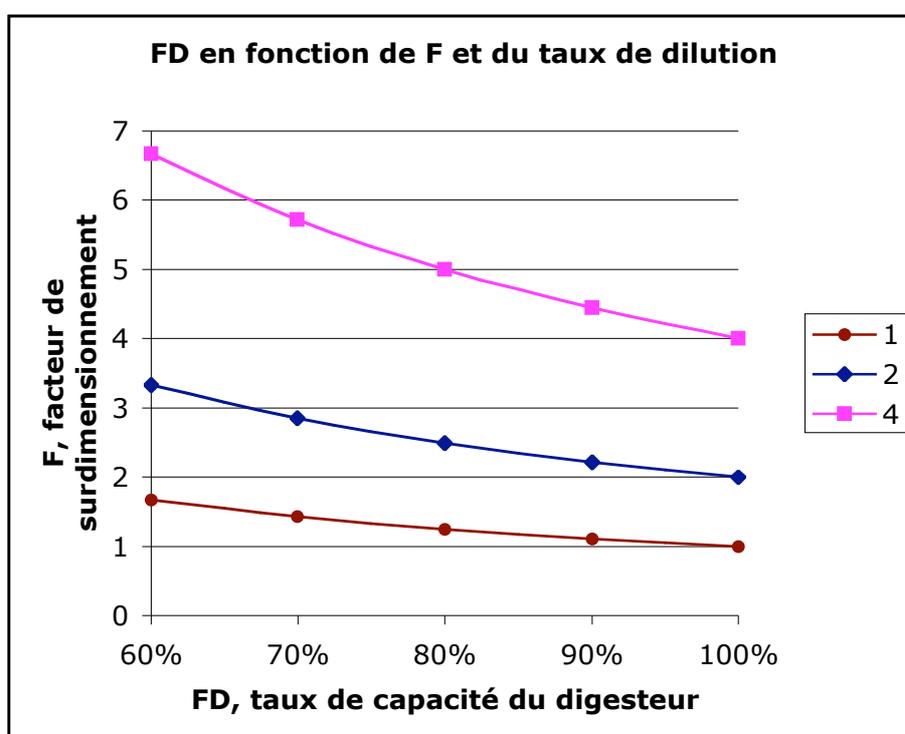
$$FD = 10 \cdot 35 / 350 \cdot F \text{ dilution} / F \text{ surdimensionnement}$$

FD est égal à 1 pour un fonctionnement à régime permanent et pour un temps de séjour de 35 jours.

Il est proportionnel au taux de dilution : celui-ci est égal à 1 pour les substrats de moins de 20 % de siccité et égal au facteur Siccité / 20 % pour les substrats secs.

Il est inversement proportionnel au facteur de surdimensionnement, égal au débit mensuel maximal rapporté au débit mensuel moyen.

Figure 6 : Taux de capacité du digesteur FD en fonction du facteur surdimensionnement F et du taux de dilution



Pour $lu = 300 \text{ €/m}^3$ et $Km = 13 \%$ et $n = 80 \%$:

$$Cm = 500 \cdot FD / (m \cdot t)$$

3.2.4. Transport du biogaz

Tableau 18 : Coût global d'un réseau de transport du gaz

Réseau de gaz		Ir = 30 Euro/ml
Annuités	7 %	
Entretien	1 %	
Annuité + entretien		3 Euro/ml par an

Rapporté à la production d'énergie, le coût du transport du biogaz est :

$$Ct = Kt \cdot It \cdot L / E$$

Avec

Kt = taux annuités + entretien réseau transport

Ir = investissement unitaire réseau (Euro/ml)

L = longueur canalisation, en mètre

E = énergie vendue, en MWh/an

L'énergie vendue est fonction de la quantité de biomasse traitée (Q, t/an), de la productivité en méthane (m, m³ CH₄/t), du taux de valorisation effectif (t), du rendement (n) :

$$Ct \text{ [Euro/Mwh u]} = 100 \cdot Kt \cdot It \cdot L / Q \cdot m \cdot t \cdot n$$

3.2.5. Chaufferie gaz

Le cout de la chaufferie gaz est estimé à 4,6 €/MWh.

Tableau 19 : Coût global d'une chaufferie gaz

Chaufferie		Ic = 100 Euro/kW
Durée fonctionnement nominal		Nhc = 3000 h
		3,0 MWh/kW
Annuités	8 %	
Exploitation	6 %	
Total annuité + exploitation		5,8 Euro/MWh u

$$Cc = 1000 \cdot Kc \cdot Ic / Nh \cdot ng$$

3.2.6. Chaufferie biocombustible solide

□ Exemple chaufferie bois, hors coût du combustible

Tableau 20 : Exemple de coûts observés sur une chaufferie bois

Chaufferie		500		Euro/kW
Durée fonctionnement nominal		3000		h
		Combustible	3,0	MWh/kW
Rendement	75 %	Chaleur	2,3	Mwhu/kW
Equipement	35 %	177	12,6	Euro/kW par an
Génie civil	55 %	273	15,0	Euro/kW par an
Ingénierie	10 %	50	16,4	Euro/kW par an
Total	100 %		43,9	Euro/kW/an
Annuités			19,5	Euro/MWh u
Equipement	6 %		4,7	Euro/MWh
Génie civil	1 %		1,2	Euro/MWh
Conduite			3,0	Euro/MWh
Exploitation			8,9	Euro/MWh
Total annuité + exploitation			28,4	Euro/MWh

3.2.7. Coût de la distribution de la chaleur

Le coût de la distribution de la chaleur est estimé à 17 €/MWh utile.

Tableau 21 : Coût global de la distribution de chaleur

Réseau de chaleur		600 Euro/kW
Annuités	6 %	
Entretien	1 %	
Annuité + entretien		41 Euro/kW par an
Annuité + entretien		17 Euro/MWh u

$$C_c = 1000 \cdot K_d \cdot I_d / N_h \cdot n_g$$

3.2.8. Récapitulatif : filière méthanisation agricole

Coût du substrat : $C_s = 100 \cdot S / (m \cdot t \cdot n)$

Coût de production du biogaz : $C_m = K_m \cdot I_m \cdot F_D \cdot x \cdot 10 / (m \cdot t \cdot n)$

Coût de transport du biogaz : $C_t = 100 \cdot K_t \cdot I_t \cdot L / Q \cdot (m \cdot t \cdot n)$

Coût de la chaufferie gaz : $C_c = 6 \text{ Euro/Mwh u}$

Coût de distribution de la chaleur : $C_d = 17 \text{ Euro/Mwh u}$

$$\text{Total : } C = (100 \cdot S + 10 \cdot Km \cdot lu \cdot FD + 100 \cdot Kt \cdot lr \cdot L/Q) / [m \cdot t \cdot n] + 23$$

En Euro par MWh utile (chaleur livrée usager).

$$\text{Total : } C = (100 \cdot S + 10 \cdot Km \cdot lm \cdot FD) / (m \cdot t \cdot n) + (100 \cdot Kt \cdot lt) / (m \cdot t \cdot n) \cdot L/Q + 23$$

3.2.9. Récapitulatif : filière bois énergie

Le coût de la chaleur (en €/MWh) peut être calculé à partir de la formule suivante :

$$C_b = 47 + S / Pci / n$$

Avec :

- S = coût de la biomasse brute, en €/tonne.
- Pci = pouvoir calorifique inférieur en MWh/tonne.
- n = rendement (environ 75 %).

Ce coût se décompose entre :

- le coût du biocombustible : $S / Pci / n$ (variable selon la provenance du combustible, son Pci...);
- le coût de la chaufferie : 28 Euro/MWh (variable selon la nature du combustible, la technologie, la taille, la durée de fonctionnement...);
- le coût de la distribution de la chaleur : 17 Euro/MWh (variable selon le coût du réseau, la durée de fonctionnement...).

3.3. Gisements accessibles en fonction du prix de référence des énergies

Il est possible de déterminer le gisement accessible en fonction du prix de l'énergie (cours du pétrole), en première approche.

Les bioénergies sont supposées compétitives avec les énergies fossiles si le prix livré utilisateur hors subventions et taxes est équivalent.

3.3.1. Filières biocombustibles solides

Le coût de la chaleur issue de biomasse est équivalent à celui de la chaleur issue de combustible fossile si : $47 + B/P_{ci}/n = 30 + 0,81 P$.

D'où la formule qui relie B, le prix de la biomasse en €/tonne, à P, le cours du pétrole en €/baril.

Avec $P_{ci} = 3$ MWh/tonne et $n = 80\%$, on obtient :

$$P > 20 + 0,47 B$$

Figure 7 : Prix de la biomasse en €/t et correspondance avec le cours du baril de pétrole en €/baril

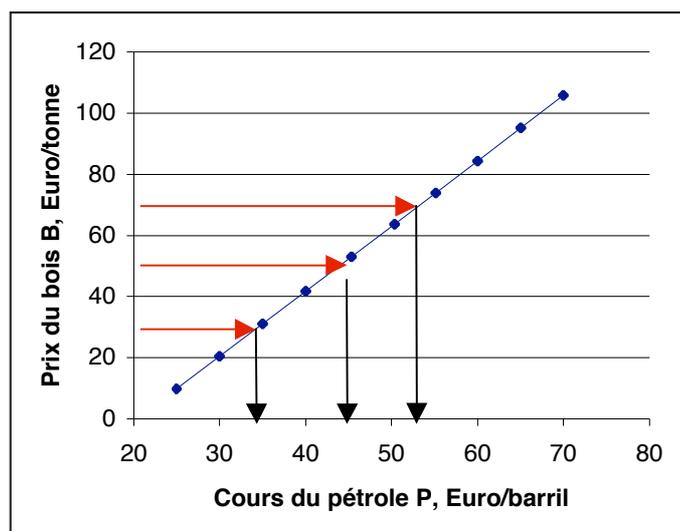


Tableau 22 : Biomasse de bois mobilisable en Mtep en fonction du coût de mobilisation en €/t et correspondance avec le coût du baril de pétrole €/baril

Type de biomasse	Coût de mobilisation, €/tonne	Enjeux Mtep	Cours du pétrole €/baril
Déchets de bois comprenant les bois de rebut, connexes de scierie, première et seconde transformation du bois, d'élagage...	< 30	4,4	35
Rémanents forestiers et non forestiers	< 50	5	45
Potentiel forestier	< 70	14	55

Le potentiel supplémentaire de bois énergie exploitable peut donc être estimé en première approche :

- 4,4 Mtep de déchets de bois non ou mal valorisés actuellement, accessibles à moins de 30 €/tonne (ce coût comprend le conditionnement des bois de rebut en plaquettes, le transport vers une chaufferie), pour un cours du pétrole de 35 € le baril ;
- 5 Mtep de rémanents d'exploitation forestière, pour un coût de 50 €/t comprenant le conditionnement et le transport, accessibles pour un cours du pétrole à 45 €/baril ;

- un gisement de l'ordre de 14 Mtep qui serait constitué par l'exploitation de surfaces forestières mal exploitées actuellement (essentiellement des taillis). Pour mobiliser ce gisement, il est nécessaire de rémunérer les propriétaires et exploitants forestiers. Le coût de mobilisation de la plaquette est estimé à 70 €/t. Il est mobilisable à un cours du pétrole de 55 €/baril.

Il s'agit ici, bien évidemment d'ordres de grandeur. En particulier, le gisement de plaquettes issues d'une exploitation des surfaces boisées pour la production dédiée d'énergie, varie considérablement selon la nature de ces surfaces et des modes d'exploitation.

3.3.2. Filières méthanisation

Le coût de la chaleur issue de biogaz est équivalent à celui de la chaleur issue d'une source fossile, si :

$$(100 \cdot S + 10 \cdot Km \cdot lm \cdot FD) / (m \cdot t \cdot n) + (100 \cdot Kt \cdot lt) / (m \cdot t \cdot n) \cdot L/Q + 23 = x + y P$$

avec $x = 30$ et $y = 0,8$

L'équilibre dépend donc de plusieurs paramètres.

Les variables S, m, dépendent de la nature des substrats et sont liées.

Les variables FD, t, L et Q, dépendent des conditions locales.

On peut en déduire le rapport L/Q en fonction de P (cours du pétrole en €/baril), pour chaque type de substrat (c'est-à-dire la distance entre l'unité de production du biogaz et la chaufferie communale alimentée en biogaz) :

$$(100 \cdot Kt \cdot lt) / (m \cdot t \cdot n) \cdot L/Q = [x - (100 \cdot S + 10 \cdot Km \cdot lm \cdot FD) / (m \cdot t \cdot n) - 23] + y P$$

soit :

$$L/Q = y / (100 \cdot Kt \cdot lt) \cdot P + [(x - 23) \cdot m \cdot t \cdot n - 100 \cdot S - 10 \cdot Km \cdot lm \cdot FD] / (100 \cdot Kt \cdot lt)$$

Ou encore :

$$L / Q = a P - b$$

Avec :

- $a = y \cdot (m \cdot t \cdot n) / (100 \cdot Kt \cdot lt)$
- $b = [x \cdot m \cdot t \cdot n - 100 \cdot S - 10 \cdot Km \cdot lm \cdot FD] / (100 \cdot Kt \cdot lt)$

Le tableau suivant indique les valeurs des constantes a et b pour différents types de substrats, avec n (rendement) = 80 % ; t (taux de valorisation)) 80 %.

Tableau 23 : Valeurs des variables a et b (n et t = 80 %) pour différents types de substrats et coût du baril de pétrole minimal équivalent à une utilisation de la biomasse sur place

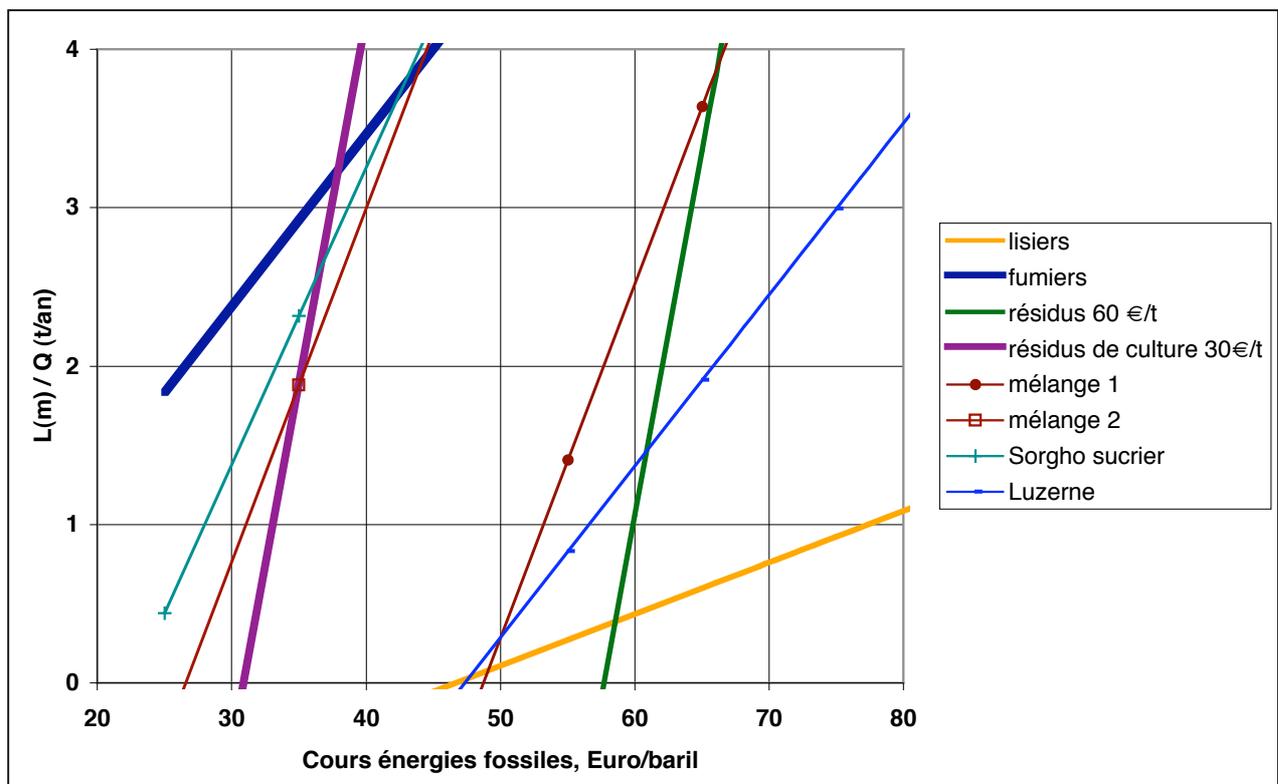
		a		b	P minimal, €/baril
Lisiers	L / Q <	0,033	x P -	1,52	47
Fumiers	L / Q <	0,109	x P -	0,88	8
Résidus 60 €/t	L / Q <	0,461	x P -	26,58	58
Résidus de culture 30€/t	L / Q <	0,461	x P -	14,23	31
Mélange 1	L / Q <	0,223	x P -	5,94	27
Mélange 2	L / Q <	0,223	x P -	5,94	27
Sorgho sucrier	L / Q <	0,188	x P -	4,25	23
Luzerne	L / Q <	0,108	x P -	5,11	47

Le tableau indique en outre le prix minimal du baril de pétrole permettant d'assurer l'équilibre économique (correspondant à $L = 0$, c'est-à-dire à une utilisation sur place).

Il comporte également une estimation faite pour des cultures énergétiques de type Sorgho doux et Luzerne, intégrant les coûts de culture et de récolte.

Le graphique ci-dessous indique le ratio L/Q (c'est-à-dire le rapport entre la longueur de la canalisation de transport de gaz et la quantité de substrat traité), en fonction du cours des énergies fossiles, pour chaque type de substrat.

Figure 8 : Rapport L/Q (longueur de la canalisation sur la quantité de substrat) pour différents substrats en fonction du coût du baril de pétrole



On constate que :

- pour du lisier seul, la filière n'est compétitive qu'au delà d'un cours élevé des énergies fossiles, de 45 Euro/baril au minimum ;
- pour du fumier, la compétitivité peut être envisagée au cours actuel, pour un rapport L/Q inférieur à 2 (par exemple 2.000 m pour 1.000 tonnes de fumier/an) ;
- pour des résidus de culture, le "seuil de décollage" se situe entre 30 et 60 Euro/baril, en fonction du coût de récolte des résidus. La distance accessible augmente ensuite rapidement : ce critère devient peu limitative ;
- en cas de mélange entre déjections d'élevage et résidus de culture, ce "seuil de décollage" est un peu plus faible (de l'ordre de 25 à 50 €/baril selon les cas) ;
- pour les cultures énergétiques, on note que les cultures à fort potentiel énergétique, comme le Sorgho doux, présentent une droite similaire à celle des résidus récupérables à 30 \$/baril, alors que la courbe pour la Luzerne est plus proche de celle des résidus à 60 €/baril.

L'approche réalisée indique le rapport entre la quantité de substrat traité et la longueur maximale d'une canalisation de gaz permettant d'alimenter des consommateurs proches, en fonction du cours des énergies fossiles.

Plusieurs projets analysés récemment par SOLAGRO montrent que la quantité de matière organique disponible sur une exploitation agricole est de l'ordre de 300 tonnes de matières sèches par an, variant dans une plage de 150 à 600 tMS/an. Ces chiffres ne sont pas représentatifs de l'ensemble du secteur agricole, mais sont indiqués ici comme ordre de grandeur. Les exploitations concernées sont d'orientations techniques très variables (élevages bovins, porcins, lapins).

En ordre de grandeur, une "unité-type" de méthanisation "à la ferme" traitant 350 tMS soit 1.500 tonnes de fumier par an, ainsi que des co-substrats d'origine diverse, est susceptible de couvrir 50 à 75 % des besoins de chauffage et eau chaude sanitaire de 30 équivalent-logements, avec un taux de valorisation effectif de 60 à 80 % du potentiel énergétique (autoconsommations déduites et en fonction du mode de gestion saisonnier des substrats).

Le tableau ci-dessous indique la longueur maximale de la canalisation gaz à créer, en fonction de la quantité de substrats traités et en fonction du cours du pétrole.

Tableau 24 : Longueur maximale de canalisations gaz à créer en km en fonction de la quantité de substrats traités et du cours du pétrole

		Cours du pétrole, €/baril		
		25	35	50
Q, t/an	Nbre eq. Log.	Distance, km		
1 000	20	2	3	5
1 500	30	3	4	7
2 000	40	4	6	9
3 000	60	6	9	14
4 000	80	7	12	18

Il est également possible, comme cela est couramment pratiqué en Allemagne par exemple, de regrouper plusieurs exploitations.

Il convient également de signaler qu'en cas de cogénération sur réseau de chaleur, plutôt qu'une valorisation thermique seule, le besoin en débouchés thermiques diminue d'un tiers.

Une analyse plus précise du potentiel nécessiterait de réaliser une approche statistique pour évaluer le nombre de logement équivalents en fonction de la distance, le rapport étant lié à la densité de population notamment et au type d'habitat (dispersé ou regroupé) selon les régions.

Néanmoins, les valeurs obtenues paraissent réalistes :

- au cours actuel du pétrole, seules les unités les plus importantes pourraient probablement disposer de suffisamment de débouchés locaux pour optimiser le taux de valorisation du biogaz ;
- à un cours plus soutenu, de l'ordre de 35 €/baril, des exploitations de taille moyenne pourraient être concernées ;
- à un cours élevé, supérieur à 50 €/baril, la plupart des élevages pourraient probablement disposer de débouchés suffisants dans un rayon accessible.

3.3.3. Conclusion sur les coûts

D'une façon générale, les conditions de mobilisation des bioénergies dépendent en premier lieu de leur coût relatif comparé à celui des combustibles fossiles.

Pour simplifier, on peut distinguer 3 groupes.

□ Le groupe des déchets

Le premier groupe rassemble les déchets devant faire l'objet d'un traitement, pour des raisons réglementaires liées à la protection de l'environnement.

Pour ce groupe, les biomasses concernées peuvent faire l'objet de différents modes de traitement, en concurrence les uns avec les autres, mais également parfois en complémentarité.

C'est le cas par exemple des biodéchets (méthanisation ou compostage), des boues d'épuration, des effluents industriels, et – selon le contexte local – des déjections d'élevage.

La méthanisation est une solution pouvant être compétitive par rapport à d'autres solutions, en fonction de critères tels que la nature du substrat concerné, de la taille, des contraintes réglementaires, de l'emprise au sol de l'unité de traitement.

Chaque projet s'analyse au cas par cas, les seuils donnés ci-dessous sont purement indicatifs.

Dans l'état actuel, la méthanisation est applicable :

- aux biodéchets municipaux pour des tonnages supérieurs à 20.000 à 50.000 tonnes par an ;
- aux boues urbaines, pour des stations d'épuration d'une capacité supérieure à 10.000 équivalent-habitants, mais avec un seuil de faisabilité qui dépend très fortement des contraintes d'écoulement des boues. Le seuil est de l'ordre de 10.000 équivalent-habitants lorsque les boues sont séchées thermiquement, et de l'ordre de 100.000 EH s'il s'agit de boues d'aération prolongées destinées au compostage ;
- aux effluents industriels : la méthanisation s'envisage actuellement pour des productions de quelques centaines de kilogrammes de DCO par jour et des concentrations supérieures à 1 g DCO par litre.

□ Le groupe I des résidus et sous-produits

Le second groupe rassemble les résidus et sous-produits pour lesquels la réglementation n'impose pas de traitement et ne présentant pas de coût de mobilisation élevé, ou dotés d'un potentiel énergétique élevé.

L'essentiel du potentiel concerné ici est constitué par les **fumiers** et en partie par des **résidus de culture**, voire par des cultures énergétiques.

La faisabilité d'un projet de méthanisation de fumier repose principalement sur les possibilités de substitution d'une énergie fossile. Les calculs économiques réalisés précédemment montrent que cette faisabilité peut être atteinte au cours actuel des énergies fossiles, si les débouchés locaux sont suffisamment importants.

Les études de projets montrent que cette condition est très rarement atteinte, les consommations de combustible fossile sur une exploitation agricole étant très inférieures à la production potentielle de biogaz.

D'où la nécessité d'exporter l'énergie produite sur des réseaux d'électricité, de gaz ou de chaleur.

Seule cette dernière hypothèse a été examinée ici. Le choix de cette hypothèse découle de l'analyse du système énergétique national, qui montre que les besoins de chaleur représentent la moitié de la consommation finale d'énergie, autant que l'électricité spécifique et les transports réunis, et qu'une politique de développement des filières bioénergies devrait cibler en priorité ces usages.

L'un des points clé repose sur la faisabilité de réseaux de chaleur communaux, compte tenu de la répartition de la ressource (zones rurales).

Une analyse plus détaillée dépasserait de très loin le cadre de cet étude : mais les pistes esquissées semblent devoir être explorées plus avant.

□ **Le groupe II des résidus et sous-produits**

Le troisième groupe rassemble également des résidus et sous-produits pour lesquels la réglementation n'impose pas de traitement, mais dont le coût de collecte est élevé (une partie des **résidus de culture**) et dont le potentiel énergétique est faible (**lisiers**).

De tels projets ne semblent pas compétitifs avec les énergies fossiles – sauf exception – à moins de 40 à 50 €/baril.

Cette situation est susceptible d'évoluer avec le renforcement des contraintes concernant le traitement des lisiers. Dans ce cas, l'analyse économique doit tenir compte d'une comparaison avec un autre mode de gestion ou de traitement, ce qui modifierait totalement l'économie du projet.

3.3.4. Potentiel accessible en fonction des coûts

Pour chaque type de biomasse, le tableau ci-dessous indique la fraction mobilisable en fonction du cours des énergies fossiles.

Il s'agit d'une approche en premier ordre de grandeur. Le tableau est construit sur l'hypothèse que la moitié du potentiel est mobilisable à un cours qui varie selon le type de biomasse, sur la base des analyses précédentes.

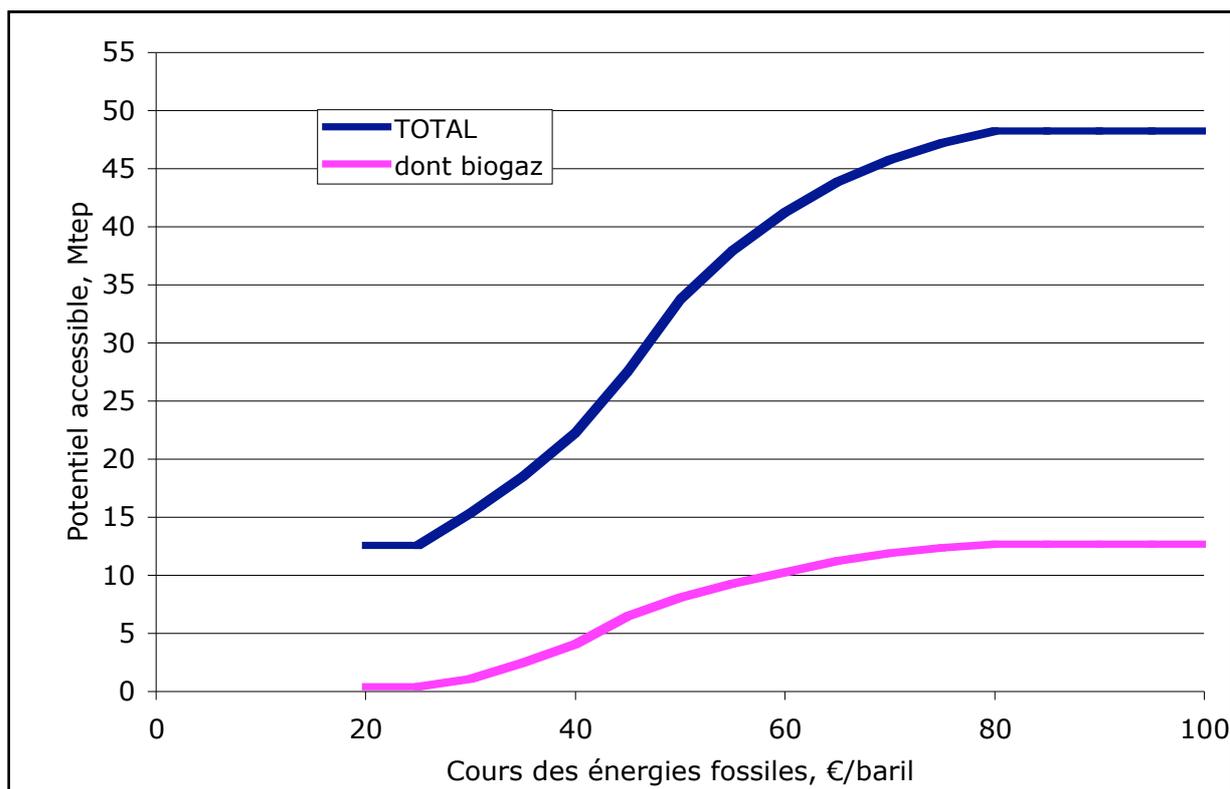
Par exemple, le bois de rebut et les connexes sont compétitifs avec le pétrole pour un cours de 35 €/baril. On considère donc que la moitié de ce gisement, estimé à 4,4 Mtep, est mobilisable à ce cours. On applique une fonction mathématique simple, pour faire varier le potentiel mobilisable en fonction du cours du pétrole, autour de ce point central. On suppose également que pour des raisons diverses, le potentiel mobilisable ne dépasse jamais 90 % du potentiel physique.

Tableau 25 : Fraction de biomasse mobilisable en fonction du cours du pétrole

		Cours du pétrole en €/baril														
			25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80		
Source	Mtep															
Biomasse énergie actuelle	11		100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %		
Déchets	Combustion	1,2	35 %	50 %	61 %	69 %	76 %	82 %	86 %	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %		
Déchets	Méthanisation	1,2	35 %	50 %	61 %	69 %	76 %	82 %	86 %	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %		
Fumiers	Méthanisation	5		10 %	35 %	50 %	61 %	69 %	76 %	82 %	86 %	90 %	90 %	90 %		
Lisiers	Méthanisation	0,8								10 %	35 %	50 %	61 %	69 %		
Résidus de culture	Méthanisation	7,3				10 %	35 %	50 %	61 %	69 %	76 %	82 %	86 %	90 %		
Résidus de culture	Combustion	3,2	10 %	35 %	50 %	61 %	69 %	76 %	82 %	86 %	90 %	90 %	90 %	90 %		
Bois de rebut et connexes	Combustion	4,4	10 %	35 %	50 %	61 %	69 %	76 %	82 %	86 %	90 %	90 %	90 %	90 %		
Rémanents	Combustion	5		10 %	35 %	50 %	61 %	69 %	76 %	82 %	86 %	90 %	90 %	90 %		
Cultures forestières	Combustion	14					10 %	35 %	50 %	61 %	69 %	76 %	82 %	86 %		
TOTAL		53	13	15	19	22	28	34	38	41	44	46	47	48		
dont biogaz		14	0	1	2	4	7	8	9	10	11	12	12	13		

Cette approche, quoique simpliste et théorique, permet néanmoins de dégager l'essentiel.

Figure 9 : Potentiel de biomasse accessible en Mtep en fonction du cours du pétrole



En cas de doublement du cours du pétrole par rapport à son niveau tendanciel actuel de 25 €/baril, le potentiel mobilisable est de l'ordre de 34 Mtep d'énergie primaire, dont 8 Mtep de biogaz.

L'essentiel du potentiel est mobilisable à un cours de moins de 75 €/baril : 47Mtep, dont 12 Mtep de biogaz.

Figure 10 : Potentiel énergétique accessible en Mtep des différents types de substrats de la biomasse sur la base d'un prix du baril de pétrole de 50 €/baril

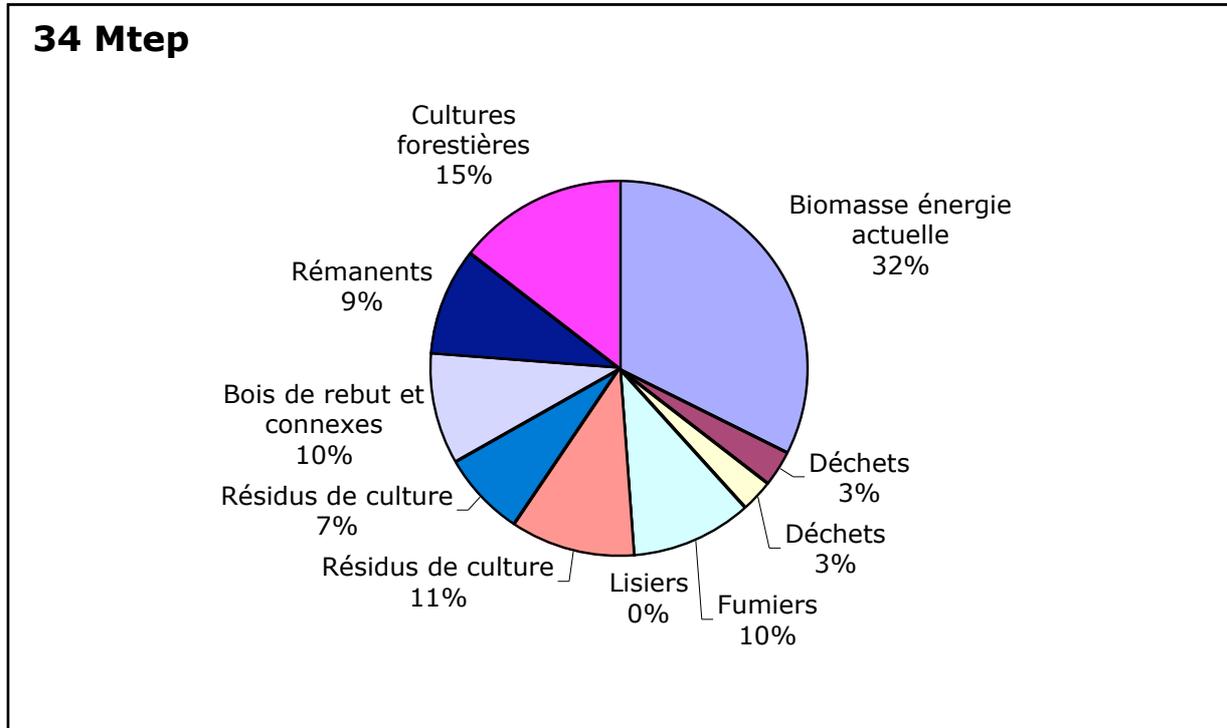
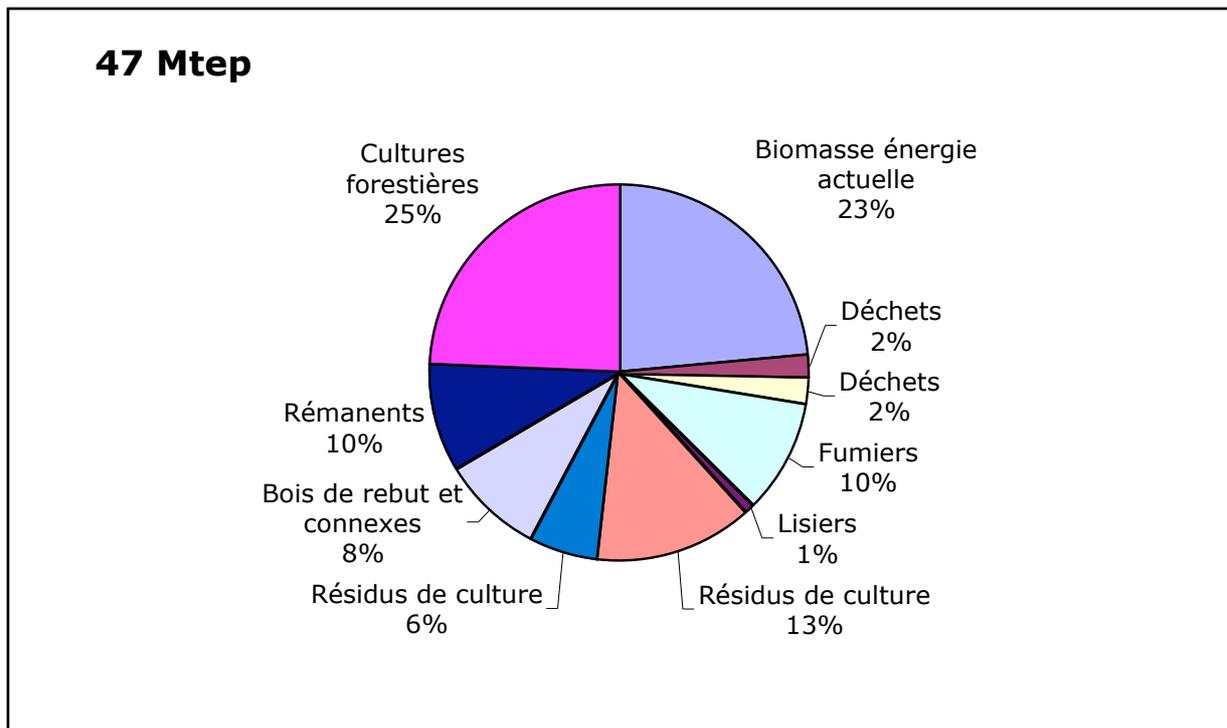


Figure 11 : Potentiel énergétique accessible en Mtep des différents types de substrats de la biomasse sur la base d'un prix du baril de pétrole de 75 €/baril



4. Conclusion

Le potentiel énergétique que représente la biomasse est estimé 5 fois sa contribution actuelle à long terme : près de 50 Mtep (énergie primaire) en France, 300 Mtep pour l'Union Européenne des 15, 400 Mtep pour les USA et pour la Chine, 200 Mtep pour l'Inde.

Il s'agit ici de "**biomasse fatale**", c'est-à-dire de la biomasse actuellement produite et disponible sous forme de déchets, sous-produits, résidus de culture et d'exploitation forestière et ne tient pas compte de cultures énergétiques dédiées.

Les différentes études sur le potentiel des bioénergies, au niveau européen ou mondial, avancent des ordres de grandeur équivalents : 280 Mtep pour l'Union Européenne (facteur 5), et de l'ordre de 5.000 Mtep au niveau mondial (facteur 4).

Le **biogaz** peut représenter selon les régions **entre le quart** (UE, USA) **et le tiers** (Chine, Inde) **de ce potentiel**.

Le potentiel biogaz représente entre 20 et 40 % de la consommation actuelle de gaz naturel dans les pays industrialisés, et de 4 à 6 fois la consommation actuelle de la Chine et de l'Inde.

Rapporté à la consommation finale de combustibles et d'électricité, ce potentiel représente de l'ordre de 10 % pour les pays industrialisés et 25 à 44 % pour la Chine et l'Inde.

Le **gaz de biomasse**, en incluant le gaz de synthèse issu des procédés thermochimiques (gazéification), pourrait techniquement **doubler ce volume**.

De nombreux facteurs conditionnent la réalisation de ces potentiels.

Parmi les plus importants, figure le **coût des énergies fossiles** et pour les filières "gaz de biomasse", les **conditions d'accès au réseau gazier**.

Une part significative de ce potentiel est accessible à des cours relativement modérés des énergies fossiles : en se basant sur l'approche économique présentée ici pour la France, on peut estimer que plus de **la moitié de ce potentiel est accessible à 50 €/baril**, et près de 90 % à 75 €/baril. Il s'agit ici principalement des substrats déjà collectés (déchets, sous-produits).

Dans le cadre d'une **politique de lutte contre le changement climatique et de préservation des ressources fossiles**, le différentiel de coût peut être supporté par différents moyens : taxation des énergies fossiles, subventions aux énergies renouvelables, acceptabilité sociale d'un surcoût des énergies renouvelables pour les usagers.

La conversion de biomasse brute en gaz et notamment en méthane, offre en effet des atouts majeurs en terme de transportabilité de l'énergie, qui peut constituer un frein majeur au développement des bioénergies. Le gaz de biomasse peut être transporté par réseau gaz, ou être converti en carburant liquide. Le développement des filières "gaz de biomasse" est donc conditionné vraisemblablement, par les conditions d'accès au réseau de transport et/ou distribution de gaz.