



RE.CO.R.D.

ETUDE N° 02-0415/1A

SYNTHESE DE L'ETUDE

FRANÇAIS / ANGLAIS

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

octobre 2004

Ch .COUTURIER - SOLAGRO

RÉSUMÉ

Mots-clés : Biomasse, biogaz, énergie, matière organique, méthanisation, déchets, effluents, résidus.

Cette étude vise à estimer le potentiel énergétique de la biomasse (hors cultures dédiées à l'énergie), et plus particulièrement du biogaz et gaz de biomasse, 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 14 Mtep, pour une contribution potentielle totale de la biomasse de 51 Mtep (accessible à moins de 75 \$ le barril). 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 (excluding energy crops), mainly biogas and biomass gases, 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 about 14 Mtoe, on a global biomass potential of about 51 Mtoe (accessible under 75 \$ per barrel). 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 resource come from animal manure and corps 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. PRODUCTION DE « GAZ FATAIS », VALORISATION DU BIOGAZ : ÉTAT DES LIEUX EN EUROPE, USA, CHINE, INDE | 4 |
| 1.1 LE CHAMP DE L'ÉTUDE | 4 |
| 1.2 LA VALORISATION DU BIOGAZ..... | 4 |
| 1.2.1 <i>Valorisation du biogaz dans l'Union Européenne</i> | 5 |
| 1.2.2 <i>Autres régions</i> | 6 |
| 1.3 LES COV ET LES GAZ FATAIS..... | 7 |
| 2. ANALYSE DU POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE DE LA BIOMASSE | 8 |
| 2.1 MÉTHODOLOGIE | 8 |
| 2.1.1 <i>La biomasse « fatale »</i> | 8 |
| 2.1.2 <i>Une méthode de type « bouclage des bilans »</i> | 8 |
| 2.2 LES FILIÈRES « BIOMASSE ÉNERGIE » | 10 |
| 2.2.1 <i>Méthanisation et biomasses liquides</i> | 10 |
| 2.2.2 <i>Les résidus de culture</i> | 10 |
| 2.2.3 <i>La gazéification des biomasses ligneuses</i> | 11 |
| 2.3 LE POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE « LONG TERME » DES BIOMASSES MOBILISABLES..... | 12 |
| 2.3.1 <i>Priorités</i> | 12 |
| 2.3.2 <i>France</i> | 12 |
| 2.3.3 <i>Union Européenne des 15</i> | 13 |
| 2.3.4 <i>États-Unis d'Amérique</i> | 14 |
| 2.3.5 <i>Chine et Inde</i> | 14 |
| 2.3.6 <i>Conclusion sur le potentiel biogaz</i> | 15 |
| 3. FACTEURS D'ÉMERGENCE..... | 16 |

1. Production de « gaz fatals », valorisation du biogaz : état des lieux en Europe, USA, Chine, Inde

1.1 Le champ de l'étude

Les « gaz fatals » sont, dans le cadre de cette étude, 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 stockées en fosses à lisiers ou en fumières ;
- ❑ émis par les **fermentations** entériques (ruminants), les sols agricoles (rizières) ;
- ❑ ou résultant de la **volatilisation de composés organiques** (COV) : il s'agit ici principalement des solvants.

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 : par exemple, 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.

Le **biogaz n'est cependant pas nécessairement un gaz « fatal »**, sa production est au contraire souvent voulue, dans un contexte de traitement de déchets et/ou de production d'énergie.

1.2 La valorisation du biogaz

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.

1.2.1 Valorisation du biogaz dans l'Union Européenne

□ Union Européenne

Il existe environ **4.500 unités de méthanisation ou de valorisation du biogaz en Europe** : il s'agit de digesteurs de déjections d'élevage « à la ferme » (près de 2.000 unités opérationnelles), de boues d'épuration urbaines (1.500 unités), d'effluents industriels (400 unités), de déchets municipaux (80 unités). S'y ajoutent 400 centres de stockage de déchets équipés d'unité de valorisation du biogaz.

La production d'énergie primaire est de l'ordre de 100 PJ (Pétajoule), soit 2,5 Mtep (Méga tonne-équivalent pétrole). Les principaux pays producteurs sont le Royaume-Uni (forte valorisation de gaz de décharge) et l'Allemagne (productions multiples, avec un essor récent de la production d'origine agricole). La France se situe en troisième position, mais rapportée à sa population elle reste parmi les plus faibles producteurs, assez loin derrière l'Autriche, le Danemark, la Suède.

□ France

En France, la production primaire (non compris le biogaz éliminé en torchère) est estimée à 7 PJ, principalement à partir des stations d'épuration urbaines (en faible évolution), et des centres de stockage (en hausse). La vente d'électricité ex-biogaz est régie par deux décrets, qui fixent les tarifs à 41 à 60 €/MWh selon la source, la disponibilité, et le taux de valorisation de la chaleur.

La moitié est transformée en électricité seule, près de 10 % sont cogénérés, et 40 % font l'objet de valorisations thermiques diverses.

Le potentiel de production d'électricité des centres d'enfouissement peut être estimé à 120 MWe dans les conditions actuelles d'achat, mais à 260 MWe si les tarifs étaient similaires à ceux pratiqués en Allemagne. Au rythme actuel, le potentiel exploitable en France devrait être saturé d'ici 2007, ce qui correspond aux objectifs fixés par le Plan Pluriannuel d'Investissement dans le cadre de la loi sur la modernisation du secteur de l'électricité.

□ Allemagne

En Allemagne, la production primaire est de 30 PJ. La méthanisation est une pratique courante en station d'épuration urbaine. Le nombre de digesteurs agricoles est en forte progression, leur taille augmente, la plupart des nouvelles unités dépassent une capacité de 200 kWe.

L'essor du biogaz agricole en Allemagne est lié à un contexte dans lequel le prix d'achat joue un rôle majeur : celui-ci est de 110 €/MWh pour les unités inférieures à 500 kW.

□ Autriche

En Autriche, la production est de 6 PJ. Comme en Allemagne, la digestion est une pratique courante en station d'épuration, le biogaz agricole est en plein essor, et les tarifs d'achat d'électricité sont aussi attractifs qu'en Allemagne.

□ Royaume-Uni

Au Royaume-Uni, la production est de 38 PJ. L'essentiel de cette production provient des centres d'enfouissement, et secondairement des stations d'épuration. La production d'électricité a bénéficié du système d'appel d'offres dit NFFO, qui a permis la création d'un parc de près de 400 MWe. Ce système évolue depuis 2002 vers un système combinant quotas, taxes et certificats verts.

□ Suède

En Suède, les 5 PJ produits proviennent des stations d'épuration et des centres d'enfouissement, mais on compte également une dizaine d'usines de codigestion traitant des déchets municipaux, avec une dizaine d'opérations « biogaz carburant ».

□ Danemark

Le Danemark se caractérise par l'importance de la méthanisation en centres collectifs, et la valorisation du biogaz en cogénération sur réseau de chaleur communal.

□ Espagne

En Espagne, c'est la méthanisation des déchets municipaux qui connaît un essor spectaculaire, avec plusieurs unités dépassant des capacités de 100.000 tonnes de déchets par an.

□ Pologne

En Pologne, 16 centres d'enfouissement sont équipés d'unités de valorisation du biogaz. Comme dans les autres pays de l'Europe orientale et centrale, la digestion des boues urbaines est relativement courante.

1.2.2 Autres régions

□ États-Unis d'Amérique

On ne dispose pas, pour les États-Unis, de données agrégées au niveau fédéral pour l'ensemble des filières. Il semble que la production soit du même ordre de grandeur, quoique inférieure, qu'en Europe.

Il existe près de **300 sites de valorisation du biogaz en centre de stockage**. La digestion des boues est une pratique répandue : 80 % des boues produites en Californie sont digérées, par exemple.

On compte quelques dizaines de digesteurs agricoles, notamment dans la région des Grands Lacs. Il n'existe aucune unité opérationnelle de méthanisation des déchets municipaux.

□ Chine

En Chine, on estime la production primaire à environ 80 PJ. La Chine poursuit, depuis les années 1950, un programme de biogaz familial dont les résultats restent controversés : mais il semble que près de **8 millions de digesteurs** soient opérationnels. Depuis une vingtaine d'année, d'autres formes de production ont été développées : on compte près de **750 unités de grande taille** (industries agro-alimentaires et élevages industriels), 470 stations d'épuration urbaines, de très nombreuses unités de digestion d'eau usées de type fosses septiques.

□ Inde

Comme en Chine, l'Inde développe depuis plusieurs décennies un programme de digesteurs familiaux, destinés à lutter contre la pénurie de bois de feu et la désertification. La production serait de 90 PJ. On compte **3 millions de digesteurs familiaux**, et 4.000 digesteurs « communautaires » de plus grande taille, ainsi qu'une forte production de biogaz dans **l'industrie agro-alimentaire**, et quelques unités de méthanisation sur les eaux usées municipales.

1.3 Les COV et les gaz fatals

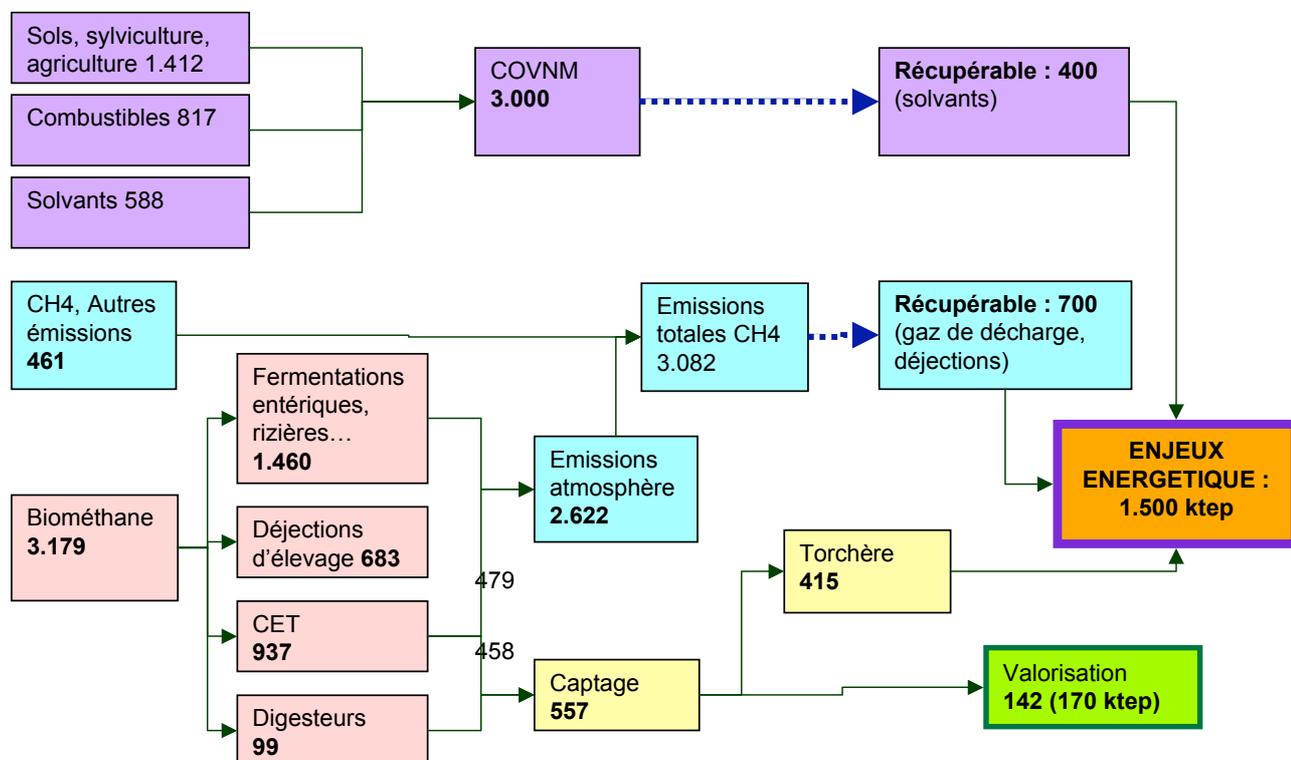
□ France : un schéma global de production et d'émission de « gaz fatals »

Les émissions de méthane dans l'atmosphère en France représentent 3 Tg (million de tonnes) : la principale source est constituée par les fermentations entériques des ruminants, les déjections d'élevage, les combustibles, les décharges de déchets.

Elles sont comparables aux émissions de composés organiques volatiles, dont les principales sources sont les forêts, l'utilisation des solvants, et les combustibles.

Compte tenu de l'importance des émissions diffuses non maîtrisables (fermentations entériques, sols forestiers, rizières, combustibles et carburants...), on peut estimer que le potentiel de gaz fatals récupérables et valorisables pour une production d'énergie, ne dépasse pas 1,1 Tg, dont 0,7 Tg de méthane (principalement à partir des déjections d'élevage et de la collecte du gaz de décharge), et 0,4 Tg de COV (principalement à partir de la récupération des solvants).

Schéma : flux annuels de CH₄ et COV en France, en Gg (kilo-tonnes)



□ Union Européenne, USA, Chine, Inde

Ces quatre régions émettent vers l'atmosphère un total de 172 Tg de gaz fatals, dont 116 Tg de méthane et 56 Tg de COVNM.

Environ 35 Tg, soit **20 % des émissions, sont jugées potentiellement récupérables et valorisables** à des fins énergétiques, dont l'essentiel (près de 80 %) en **méthane**.

La Chine est le principal émetteur, les USA et l'Inde sont à égalité, devant l'Union Européenne. Ces différences proviennent principalement de l'importance du cheptel animal et des rizières.

2. Analyse du potentiel énergétique de la biomasse

2.1 Méthodologie

2.1.1 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.

2.1.2 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 :

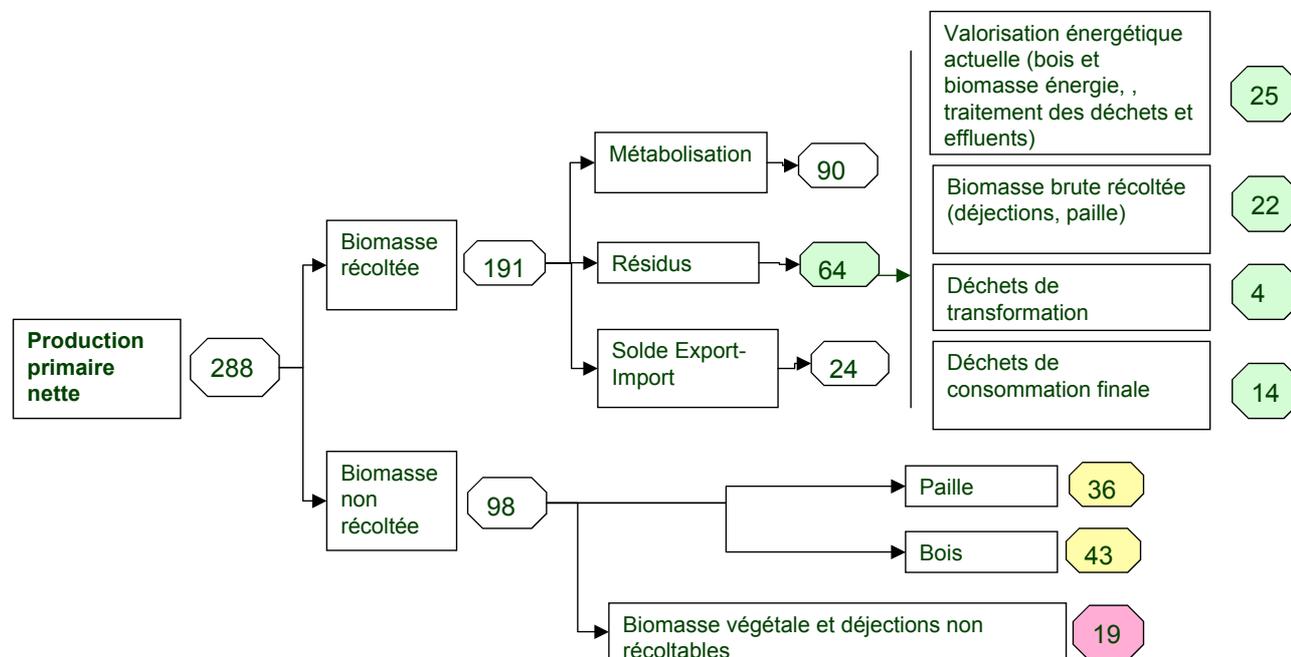
- ❑ de raisonner sur la base de **quantité de matière organique**, unité de compte applicable à l'ensemble des produits dérivés de la biomasse, et par ailleurs relativement aisé à traduire en termes énergétiques ;
- ❑ de viser une approche de type « **bouclage des bilans** » au niveau de chaque « module », 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.

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**.

Il apparaît que sur 288 MtMO (millions de tonnes de matières organiques) générés 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.

Schéma simplifié des flux de matières organiques issues de la biomasse en France (Tg, ou millions de tonnes de matière organique)



En vert : biomasse récoltée ; en jaune : biomasse non récoltée ; en rose : biomasse non récoltable

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 et 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 quatre 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.

2.2 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, et qui justifie le choix de la méthodologie décrite précédemment.

2.2.1 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 consommée 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.

2.2.2 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 que ce soit dans l'Union Européenne, en Chine en Inde, 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.**

L'abandon sur place des résidus de culture 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 des caractéristiques plus proches 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 épandues 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 dégrader 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.

2.2.3 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 laissés 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.

2.3 Le potentiel énergétique « long terme » des biomasses mobilisables

2.3.1 Priorités

Les biomasses peuvent être regroupées en différentes catégories.

Parmi **celles qui sont laissées sur place** aux champs ou en forêts :

- ❑ 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 de chauffage** 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 matériels** (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 termes 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 moindre coût »** (c'est-à-dire ne nécessitant que peu de dépenses supplémentaires, contrairement à la production de biomasse dédiée à l'énergie) : 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.

2.3.2 France

Le potentiel énergétique est calculé sur la base d'une répartition (indicative) 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 39 Mtep**, soit un total de 51 Mtep. Il s'agit d'un potentiel « long terme », qui n'intègre pas à ce stade de l'étude des considérations d'ordre économique.

| | Ressource | Potentiel énergétique | Dont | Dont |
|---|------------|--------------------------|-----------|--------------------|
| | MtMO | Mtep | Biogaz | Thermochi mique |
| TOTAL | 119 | 39 | 14 | 24 |
| Déjections d'élevage (y compris fumier) | 22 | 6 | 6 | 0 |
| Résidus de cultures non récoltées | 36 | 10 | 7 | 3 |
| Capitalisation forêt productive et résidus d'exploitation forestière | 23 | 9 | 0 | 9 |
| Autres espaces | 20 | 8 | 0 | 8 |
| Sous-produits et déchets de transformation | 4 | 1 | 0 | 1 |
| Déchets de consommation finale | 5 | 2 | 1 | 1 |
| Déchets du bâtiment | 8 | 3 | 0 | 3 |

Ce potentiel supplémentaire se répartit entre **16 Mtep d'origine agricole** (sur environ 28 millions d'hectares de SAU ; dont 13 Mtep de biogaz issu des déjections d'élevage, résidus de culture et résidus agro-alimentaires) ; **6 Mtep de déchets** des ménages et des entreprises (dont 1 Mtep de biogaz) et du bâtiment (déchets de démolition) ; **17 Mtep d'origine forestière** (sur environ 15 Mha de forêt productive ; comprenant les résidus d'exploitation forestière -rémanents, petits bois...- et le bois capitalisé sur pied actuellement non exploité) ; **8 Mtep provenant des autres espaces** (soit environ 8 Mha principalement de haies, bosquets, vergers, vignes, arbres d'alignement, parcs et jardins, landes, maquis, jachères...).

La contribution potentielle du biogaz est de 14 Mtep. L'essentiel provient des déjections d'élevage et résidus de culture. Le potentiel issu des déchets de transformation (effluents et déchets des industries agroalimentaires) et des déchets de consommation finale (déchets municipaux et assimilés, boues urbaines) totalise environ 1 Mtep.

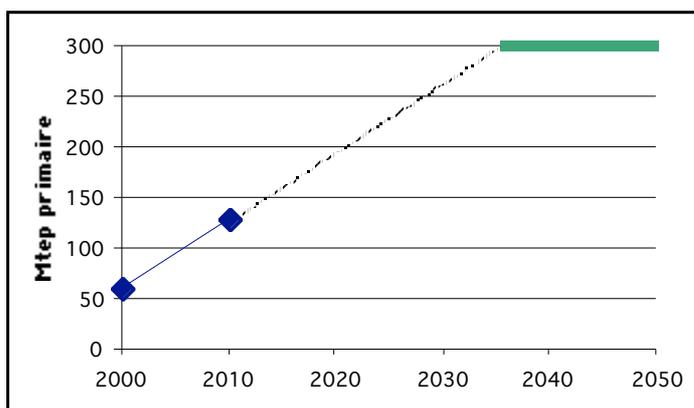
2.3.3 Union Européenne des 15

Pour l'Union Européenne, l'IEA fait état d'une production actuelle de 59 Mtep.

Le potentiel supplémentaire est estimé dans cette étude 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.



2.3.4 États-Unis d'Amérique

Pour les USA, la production actuelle est de 64 Mtep. Le potentiel supplémentaire est estimé à 374 Mtep, dont 84 Mtep de biogaz et 290 Mtep par voie thermochimique (dont 220 Mtep provenant des forêts non exploitées).

2.3.5 Chine et Inde

En Chine comme en Inde, la production actuelle de bioénergies est importante (respectivement 179 et 111 Mtep¹), et le potentiel supplémentaire est équivalent (189 et 104 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.

| Mtep | 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 | 39 | 243 | 374 | 189 | 104 |
| dont biogaz | 14 | 62 | 84 | 125 | 89 |
| Ressource totale biomasse, énergie primaire | 51 | 303 | 438 | 368 | 215 |
| dont biogaz | 14 | 65 | 87 | 129 | 91 |
| Consommation finale actuelle de combustibles et d'électricité (hors carburants dans les transports) | 112 | 623 | 875 | 520 | 205 |
| Consommation primaire actuelle de gaz naturel | 38 | 344 | 521 | 21 | 24 |

| | | | | | |
|--|-----|-----|-----|------|------|
| Ressource biogaz/Ressource biomasse | 27% | 22% | 20% | 35% | 42% |
| Ressource biomasse/Consommation finale combustibles et électricité | 48% | 49% | 50% | 71% | 105% |
| Ressource biogaz/Consommation finale combustibles et électricité | 13% | 10% | 10% | 25% | 44% |
| Ressource biogaz/Consommation primaire gaz naturel | 39% | 19% | 17% | 617% | 382% |

¹ Soit respectivement le tiers et la moitié de la consommation finale de combustibles et d'électricité

2.3.6 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 (au niveau 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 quatre 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.

3. Facteurs d'émergence

Le potentiel énergétique que représente la biomasse est estimé à 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 (en incluant l'accroissement sur pied des forêts productives), 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 : ce chiffre inclue les cultures dédiées à la production d'énergie), 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.

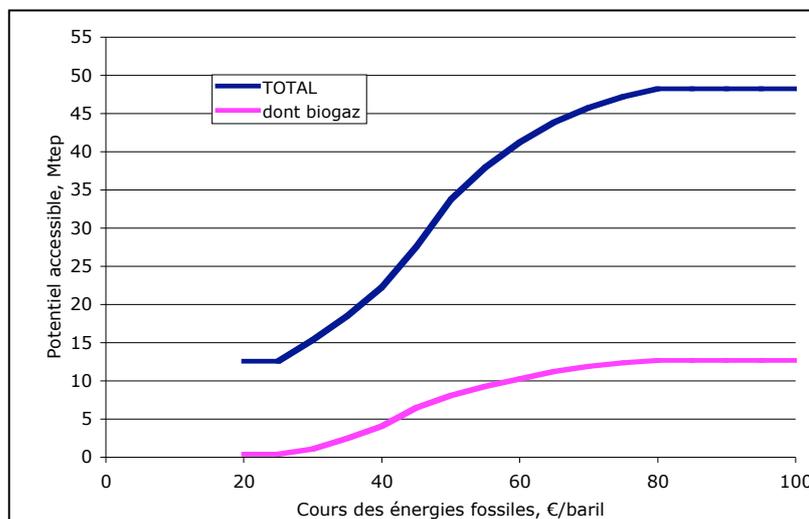
Rapporté à la consommation finale de combustibles et d'électricité, ce potentiel représente de l'ordre de 10 % pour les pays industrialisés et 25 à 44 % pour la Chine et l'Inde.

De nombreux facteurs conditionnent la réalisation de ces potentiels.

Parmi les plus importants, figurent 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 termes de transportabilité de l'énergie, qui peuvent 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.

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 (excluding energy crops), mainly biogas and biomass gases, 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 successfully for France.

Biogas potential for France is assumed to about 14 Mtoe, on a global biomass potential of about 51 Mtoe (accessible under 75 \$ per barrel). 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 harvest 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 crops residues. Anaerobic digestion allows the restitution of organic and mineral fertilizers to the soils.

In the four areas of this study, biogas potential could rise from 11 Mtoe today, to 370 Mtoe in a long term perspective.

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| 1. GAS FATAL PRODUCTION AND BIOGAS VALORIZATION IN EUROPE, USA, CHINA AND INDIA | 4 |
| 1.1 STUDY FOCUS | 4 |
| 1.2 BIOGAS VALORIZATION..... | 4 |
| 1.2.1 <i>Biogas Valorization in European Union</i> | 5 |
| 1.2.2 <i>Other Areas</i> | 6 |
| 1.3 VOC AND FATAL GAS..... | 7 |
| 1.3.1 <i>France</i> | 7 |
| 1.3.2 <i>European Union, USA, China, India</i> | 7 |
| 2. BIOMASS ENERGETIC POTENTIAL ANALYSIS | 8 |
| 2.1 METHODOLOGY | 8 |
| 2.1.1 <i>« Fatal » Biomass</i> | 8 |
| 2.1.2 <i>Balance flows methodology</i> | 8 |
| 2.2 BIOMASS ENERGY..... | 9 |
| 2.2.1 <i>Anaerobic Digestion and Liquid Biomass</i> | 9 |
| 2.2.2 <i>Harvest Residues</i> | 10 |
| 2.2.3 <i>Gazification Ligneous biomass</i> | 10 |
| 2.3 « LONG TERM » PROSPECTIVE FOR BIOMASS | 10 |
| 2.3.1 <i>Priorities</i> | 10 |
| 2.3.2 <i>France</i> | 11 |
| 2.3.3 <i>European Union 15</i> | 11 |
| 2.3.4 <i>USA</i> | 11 |
| 2.3.5 <i>China and India</i> | 11 |
| 2.3.6 <i>Conclusion on Biogas Potential</i> | 12 |
| 3. EMERGENCE FACTORS | 13 |

1. Gas Fatal Production and Biogas Valorization in Europe, USA, China and India

1.1 Study Focus

Fatal gas considered in this study are gas :

- ❑ Produced from a spontaneous way from biodegradable biomass stocked on anaerobic conditions : land filled wastes or animal manures,
- ❑ From enteric fermentations (ruminant), agricultural soils (rice field),
- ❑ Or resulting from volatilization of organic compounds (VOC) mainly from solvents.

Methane and VOC are atmospheric pollutants that have to be reduced. Different technical solutions or strategies are existing : landfill gas recovery, animal manure treatment, VOC recovery. Those solutions can produce energy : landfill gas valorization (main energy source from biogas nowadays), anaerobic digestion from animal manure, recovery of VOC and their energetic valorization when it is feasible.

Biogas is not necessary a fatal gas, but on the contrary its production is researched in the area of waste treatment and/or energy production.

1.2 Biogas Valorization

Biogas production is still increasing in the studied countries.

International Energy Agency estimate that electricity production from biogas increases from 5 TWh in 1990 to 12,05 TWh in 2000, i.e. +9% or +0,7 TWh per year.

In 1990, USA were the main producer of biogas. They represent 5 TWh today, with an increase of +6,4% per year. In 2000, the main producer was Europe « OECD ». UK was the main European producer (2,6 TWhe), followed by Germany (1,7 TWh, growth of +23% per year).

The other ways of valorization, essentially thermal ones, are not known in the countries studies except for France and Switzerland.

Political supports are mainly for electricity production via grants on investments. The coming European Directive for thermal energy use from renewable sources will certainly change the context.

In Europe as in USA, landfills are the main sources of gas valorization.

One of the most important change those last few years is the increase of energy production from anaerobic digestion of animal manure in Germany which is today more important that energy produced from landfill and sewage gas. Anaerobic treatment of municipal solid wastes is increasing in Germany but mainly in Spain.

Out of Europe, biogas production and valorization is still increasing : in China and India, programs for developing small anaerobic units still continue to be applied. Both of these countries totalize 11 millions of family-size digesters. The rate of utilization is almost 60% in India, and certainly the same in China. Anaerobic digestion of industrial effluent such as municipal solid wastes is also developing on big units in India and China.

1.2.1 Biogas Valorization in European Union

1.2.1.1 EU

There are almost 4.500 units of anaerobic digestion or landfill gas valorization in Europe :

- ❑ Anaerobic digestion of animal manure : 2.000 operational units
- ❑ Anaerobic digestion of sewage sludge : 1.500 units
- ❑ Anaerobic digestion of industrial effluent : 400 units
- ❑ Anaerobic digestion of municipal solid wastes : 80 units
- ❑ Landfill gas valorization : 400 landfills

Primary energy production is around 100 PJ (PetaJoule), i.e. 5 Mtoe (Mega ton-oil-equivalent). The main producers are UK (landfill gas valorization), Germany (multiple production, recent increase on anaerobic digestion of animal manure). France is on the third place but with a very low ratio production/population in comparison with Sweden, Austria or Denmark.

1.2.1.2 France

In France, primary energy production (biogas flared is not counted) is around 7 PJ, mainly from sewage sludge treatment (stable) and from landfill gas valorization (increasing). Statutory tariffs of electricity produced from biogas are 41 to 60 €/MWh depending from the source, availability and quantity of thermal energy use.

Half of the production is transformed in electricity without thermal valorization, around 10% are cogenerated and 40% have varied thermal uses.

The potential of electricity produced from landfill gas can be estimated to 120 MWe in the present context and to 260 MWe if tariffs have been the same as in Germany.

1.2.1.3 Germany

In Germany, primary energy production is 30 PJ mainly from sewage sludge treatment. The number of farm units is increasing such as the size of the units. The new units have a capacity over than 200 kWe.

The expansion of that types of units is linked with the tariff of electricity purchase : 110 €/MWh for units < 500 kWe.

1.2.1.4 Austria

In Austria, primary energy production is 6 PJ. As in Germany, anaerobic digestion is a current treatment of sewage sludge, farm units are increasing strongly mainly because of attractive tariffs for electricity.

1.2.1.5 UK

In UK, production of primary energy production is 38 PJ, mainly from landfill gas valorization and second from sewage sludge treatment. Electricity production is managed by the NFFO system (bids system) which allowed the creation of 400 MWe. Since 2002, this system is evolving to one which will combine taxes, quotas and green certificates.

1.2.1.6 Sweden

In Sweden, the 5 PJ produced come from sewage sludge treatment and landfill gas valorization. There are also about ten co-digestion units treating municipal solid wastes and about ten biogas for vehicles operations.

1.2.1.7 Denmark

Denmark production is characterized with an important quantity of centralized biogas plants where biogas is cogenerated and thermal energy is used on municipal thermal networks.

1.2.1.8 Spain

Spain knows a spectacular increase of anaerobic digestion of municipal solid wastes with several plants treating more than 100.000 tons of wastes a year.

1.2.1.9 Poland

In Poland, 16 landfills are fitted out with gas valorization units. As in the other countries of the oriental part of Europe, anaerobic digestion is currently used as sewage sludge treatment.

1.2.2 **Other Areas**

1.2.2.1 USA

There are almost 300 landfill gas valorization units. Anaerobic digestion of sewage sludge is a current treatment : 80% of Californian sewage sludge are digested for example.

Several units of anaerobic digestion of animal manure are operational especially in the Big Lakes area.

No operational units of anaerobic digestion of municipal solid wastes has been registered.

1.2.2.2 China

In China, primary energy production is around 80 PJ. Since the 1950's, China develops a program based on the construction of family-size units : around 8 millions of digesters are registered as operational. Since twenty years, other programs have been initiated to develop big size digesters. Today China counts 750 plants of anaerobic digestion of industrial effluent (agro-food industry), 470 sewage sludge treatment plants and many anaerobic digestion of sewage (septic tank types).

1.2.2.3 India

As in China, India develops since many years a program of family-size digesters to limit desertification, which comes from an intensive consumption of wood energy. India counts 3 millions of family-size digesters, 4.000 central biogas plants and an increasing number of anaerobic digestion units of agro-food effluents.

1.3 VOC and Fatal Gas

1.3.1 France

Methane emissions represent in France 3 Tg (million of tons) : the main source is the enteric fermentation of ruminants, animal manure, combustibles and landfill.

They are comparable with the VOC emissions mainly produced by forests, solvents uses and combustibles.

Because of the importance of diffuse emissions (enteric fermentations, forests, rice fields, combustibles..), it can be estimated that the potential of VOC recovery for an energetic valorization is less than 1,1 Tg, of which 0,7 Tg of methane (mainly from anaerobic digestion of animal manure and landfill gas recovery) and 0,4 Tg of VOC (mainly from solvents).

1.3.2 European Union, USA, China, India

Those four areas produce 172 Tg of fatal gas, of which 116 Tg of methane and 56 Tg of NMVOC.

Almost 35 Tg, i.e. 20% of the total emissions, are judged potentially recoverable and usable for energy production (methane mainly).

China is the main producer, USA and India are on the same level before EU. Those differences come from the livestock and rice fields.

2. Biomass Energetic Potential Analysis

2.1 Methodology

2.1.1 « Fatal » Biomass

The aim of this study is to assess the energy potential of "fatal" biomass.

Is considered as "fatal" biomass :

- Forest residues
- Harvest residues
- Solid and liquid wastes generated by agriculture, enterprises, households, which are not used for food production or for construction
- Biomass let on fields (not gathered) such as straw or trees

Energy crops are not considered as "fatal biomass".

2.1.2 Balance flows methodology

To go through the difficulties linked to the heterogeneity of data, units, statistics, concerning the flows of matter, the methodology is based on :

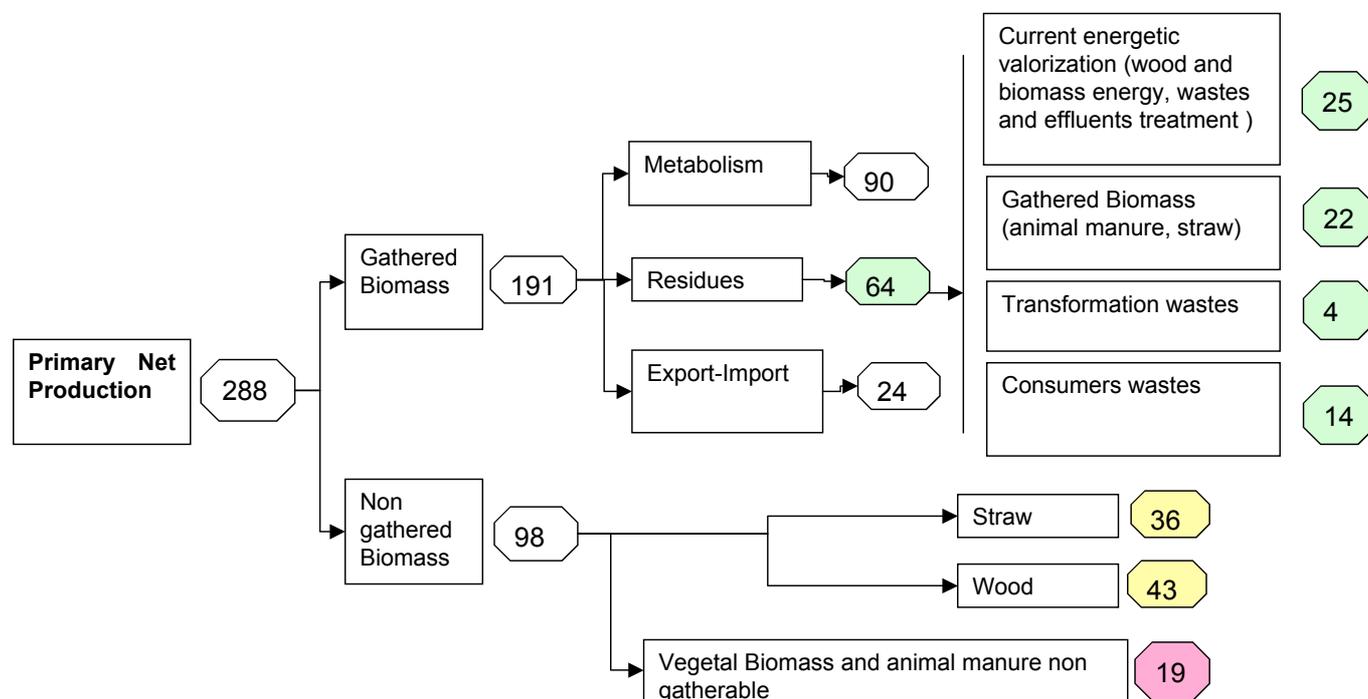
- The count of organic matter flows : unit which can be applied for varied products and easy to convert in energy equivalent.
- The balanced flows in each unit of production i.e. as far as possible a balanced in and out count which can show the main sources of uncertainties.
- The reinforcing of the results with available energetic statistics concerning biomass uses.

The methodology consists in considering biomass flows from the primary production to the end use. The different ways flowed by the biomass can be described as different "units" :

- Primary Net Production of soils (fields, forest)
- Livestock
- Vegetal products transformations; animal first transformations (slaughter house...); sawmill, wood industries...
- Second wood transformation industry, distribution
- Final consumers, enterprises and households

For France, based on 288 MtOM (millions of tons of organic matter) generated, the balanced sheet is right apart from 12 MtOM, i.e. 4%. It can be considered that the precision of that balance sheet is around 10%, which is a great result.

Simplified scheme of organic matter flows from biomass in France (Tq, millions of tons of organic matter)



This methodology, based on the identification of the organic matter flows, from agricultural and forestry areas, to their end use, allows a limitation of double counts and forgotten flows, relevant to most usual methods. It has been tested successfully for France.

2.2 Biomass Energy

Varied type of biomass can be converted in energy, with anaerobic digestion, combustion and gazification.

2.2.1 Anaerobic Digestion and Liquid Biomass

Anaerobic digestion is particularly interesting for biomass as :

- ❑ Agro-food and wood industry effluents rich in organic matter
- ❑ Animal manure rich in nitrogen
- ❑ Wet solids such as municipal or industrial biowastes

For all that products the energetic potential offered by anaerobic digestion is more important than with combustion because of humidity.

2.2.2 Harvest Residues

Anaerobic digestion can also be applied on solid biomass such as paper and harvest residues (straw essentially).

For agronomic reasons, the back of the organic matter on the soils is essential. Anaerobic digestion such as composting allows the restitution of, on the one hand the nutrients (fertilizer) and on the other hand the lignin main factor for the humus production, which is not degrading during digestion/composting. Digested/composted straw have the same fertilizing potential as raw straw.

The same reasoning can be done for animal manure, anaerobic digestion does not reduce their fertilizing potential.

2.2.3 Gazification Ligneous biomass

The other way to produce gas from biomass is gazification. This thermo-chemical treatment is applied on dry ligneous biomass : wood, wood wastes and residues...

It can also be applied on harvest residues with the same agronomic reasons limits mentioned above.

2.3 « Long term » Prospective for Biomass

2.3.1 Priorities

Biomasses can be gathered in different groups.

Among those which are **let on the fields or in forest** :

- One part can not be gathered (animal manure) : not taken into account in the potential
- One other part is capitalized (growth of the forest) and could be mobilized if technical and economical conditions are gathered
- One other part is let on the soils but can be mobilized at low costs such as harvest or wood residues

One part of raw biomass is gathered : for energy production (wood) and for fertilizing (animal manure).

Biomass gathered for human or animal food, or for construction (wood) is transformed, generally producing wastes, effluents and products. Some of them are currently used to produce energy. Nevertheless the largest part is not valorized but have to be treated for environmental reasons.

The potential does not take into account the products reused for animal food or as material.

Different level of facility for mobilization can be distinguished :

- On the first place, the wastes which have to be treated, municipal or industrial wastes
- On the second place, residues gathered and for which a treatment is desirable but not necessary such as animal manure
- On the third place, residues non gathered but which can be collected at low costs : harvest and wood residues
- The last category concerns the agricultural and forest areas (fallow fields) non used for material or food production. Those areas can be used for new cultivations or for dedicated energy crops.

2.3.2 France

Energy potential is estimated from an indicative distribution between anaerobic digestion and combustion/gazification technologies.

Current bioenergy production in France, except energy crops, is 12 Mtoe (primary energy). Added potential is 39 Mtoe, i.e. a total of 51Mtoe. It represents a « long term » potential where economical considerations have not been taken into account.

| | Resources | Energy Potential | Of which | Of which |
|--|------------|------------------|-----------|-----------------------------|
| | MtOM | Mtoe | Biogas | Combustion/ gazification |
| TOTAL | 119 | 39 | 14 | 24 |
| Animal Manure | 22 | 6 | 6 | 0 |
| Non Gathered Harvest Residues | 36 | 10 | 7 | 3 |
| Capitalization of forest and wood residues from forestry | 23 | 9 | 0 | 9 |
| Others areas | 20 | 8 | 0 | 8 |
| Transformation wastes | 4 | 1 | 0 | 1 |
| Final consumption wastes | 5 | 2 | 1 | 1 |
| Construction wastes | 8 | 3 | 0 | 3 |

Potential contribution of biogas is 14 Mtoe, mainly from animal manure and harvest residues. Energy from transformation and final consumption wastes totalize almost 1 Mtoe.

2.3.3 European Union 15

For European Union, International Energy Agency estimates the current production to be 59 Mtoe.

Added potential is around 240 Mtoe : 62 Mtoe for biogas (26 Mtoe from animal manure and 22 Mtoe from straw) and 181 Mtoe for combustion/gazification.

2.3.4 USA

For USA, current production is 64 Mtoe. Added potential is 374 Mtoe : 84 Mtoe for biogas and 290 Mtoe for combustion/gazification (of which 220 Mtoe from non exploited forests).

2.3.5 China and India

In China and in India, current bioenergies production is important (179 and 111 Mtoe respectively). Added energy potential is 189 and 104 Mtoe respectively, mainly from anaerobic digestion of animal manure and harvest residues. Theoretically biomass can cover two third to the total electricity and thermal needs of those two countries.

2.3.6 Conclusion on Biogas Potential

Biogas potential is almost 10% of the current consumption of combustibles and electricity (except fuel) for industrialized countries (France UE15, USA), the quarter for China and the half for India.

For the four studied areas, total biogas potential reaches 360 Mtoe.

As a comparison, current consumption of natural gas is 900 Mtoe (primary energy) for those areas. For China and India biogas potential represents 4 to 6 times the primary consumption of natural gas : the development of gas consumption will certainly be done via biogas production. For Europe and USA, the potential represents 20% of the current natural gas consumption.

3. Emergence Factors

Biomass energy potential is estimated to be 5 times its current contribution : almost 50 Mtoe for France, 300 Mtoe for European Union, 400 Mtoe for USA and China and 200 Mtoe for India.

Several factors are involved in the realization of those potentials and the most important ones are :

- ❑ the cost of the fossil energies,
- ❑ for gas production, the accessibility conditions to the gas network.

An important part of that potential is accessible under reasonable fossil fuel market prices.

On the basis of economic estimation presented for France in this study, half of the potential is accessible at 50 €/per barrel, and 90% under 75 € per barrel, mainly from wastes and biomass already gathered.