

Place la méthanisation dans la perspective du développement durable et de la réduction des émissions de gaz à effet de serre

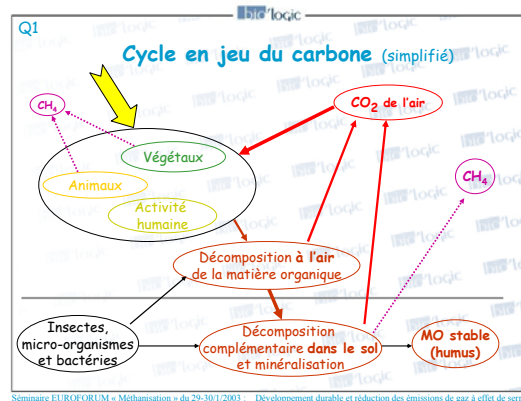
Conférence de François CAYROL lors du séminaire EUROFORUM « Méthanisation » (29 et 30 janvier 2003 à Paris)

Quelques bases et rappels incontournables

Dans la nature, les réactions de méthanisation interviennent au cours des diverses modalités complexes et complémentaires de recyclage de la matière organique. La dégradation produit une quantité variable de biogaz qui dépend du type de matières organiques, de leur état physique (granulométrie par exemple) et des conditions physiques (température par exemple). Elle est rarement totale.

Appliquée aux ordures ménagères, la méthanisation concerne tous les composants biodégradables, c'est-à-dire des molécules d'origine animale et végétale : les déchets de cuisine et de repas, la totalité des papiers et cartons, les textiles sanitaires, les plantes vertes de maison et autres végétaux de jardins, ainsi que tous les déchets du même type des commerces alimentaires et des industries agro-alimentaires.

Lorsque la dégradation est réalisée sous des conditions contrôlées, qui évitent la dispersion directe de tout ou partie du biogaz à l'atmosphère, puis suivie d'un usage avec une combustion totale du méthane contenu, le CO₂ émis est restitué à l'atmosphère, source du carbone fixé lors de la photosynthèse par les plantes quelques semaines à quelques années avant puis éventuellement utilisées dans la chaîne alimentaire ou les diverses transformations liées à l'activité humaine.



Tous ces cycles biologiques sont très courts, à l'échelle géologique et de la biosphère :

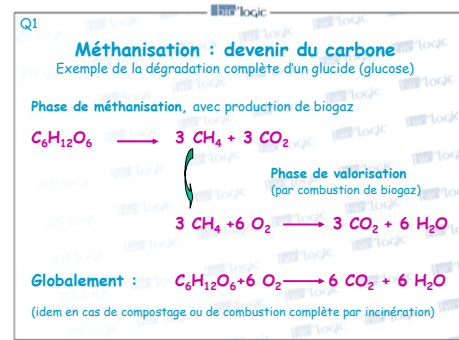
- quelques semaines à quelques mois pour les déchets végétaux non ligneux,
- quelques mois à quelques années pour les déchets animaux et les végétaux ligneux,
- quelques dizaines d'années pour les papiers et cartons.

Nous limiterons dans cette présentation l'impact de la méthanisation sur l'effet de serre suivants à celui des deux principaux gaz que sont le dioxyde de carbone CO₂ et le méthane CH₄.

Le devenir du carbone méthanisé

Lorsqu'elle est complète, la dégradation du carbone des matières organiques conduit à du gaz carbonique, restitué à l'atmosphère. Dans le cas de la méthanisation, elle a lieu en 2 étapes :

- l'une dans le digesteur (réacteur de méthanisation), qui conduit au biogaz, mélange de CO₂ et de CH₄,
- l'autre lors de la combustion du biogaz.

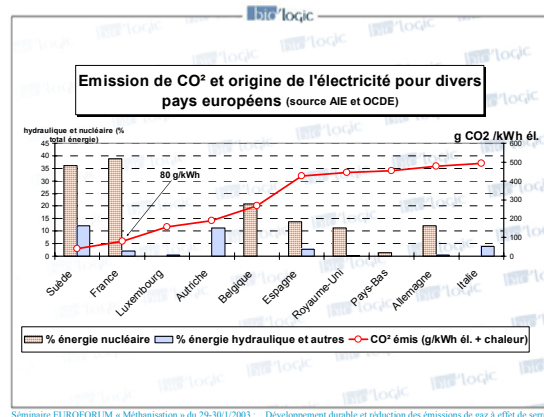


L'impact indirect de l'électricité consommée lors d'un traitement

L'émission de CO₂ varie selon les pays en fonction des types de centrales utilisées :

- elle est nulle pour les centrales hydrauliques et nucléaires, et les éoliennes,
- elle est maximale pour les centrales au fioul et au charbon..

Le parc actuel français conduit à un ratio moyen de 80 gramme de CO₂ par kWh. Il est supérieur à 400 g/kWh chez la plupart de nos grands pays voisins européens.



Méthanisation pour le traitement des ordures ménagères et effet de serre

L'impact lié à la dégradation des composants organiques des OM intervient aux principaux niveaux suivants :

- au niveau des collectes et des engins roulants (en usine ou en CET) par la consommation de carburant fossile (fuel). L'émission moyenne du moteur bien réglé d'un véhicule est 2,7 kg de CO₂ par litre consommé. Selon le type de territoire, d'urbanisme et de nombre de tournées, on peut considérer une fourchette de consommation comprise entre 3 et 5 litres par habitant et par an ;
- au niveau des émissions directes de CH₄ à l'atmosphère (en CET) : l'effet équivalent est multiplié par 21 par rapport à celui du CO₂ ;
- lors du traitement, selon la voie choisie : le compostage moderne, avec un traitement de l'air de procédé, consomme généralement entre 45 et 75 kWh par tonne traitée ; la méthanisation permet de vendre, après autoconsommation, 120 à 140 kWh/t.

Approche quantitative des enjeux au niveau national

Quatre stratégies de gestion ont été envisagées pour cadrer cette réflexion. Elles sont les suivantes :

- 100% mis en décharge (CET) sans récupération de biogaz,
- 100% mis en décharge (CET) avec la récupération et la valorisation sous forme électrique de 50% du biogaz,
- 100% traité par méthanisation avec une valorisation électrique du biogaz mais sans valorisation de la chaleur de cogénération,
- une gestion multi-filières :
 - o 25% en méthanisation avec une valorisation électrique du biogaz
 - o 25% en compostage
 - o 35% en incinération
 - o 15% en CET sans récupération de biogaz

Les principales hypothèses de calculs sont les suivantes :

- une population de 60 millions d'habitants,
- une production moyenne d'OM de 450 kg/habitant/an contenant 55% de composants biodégradables (hors déchets végétaux de jardins et parcs),
- la dégradation est partielle et conduit au même volume d'émission de carbone gazeux quelle que soit la voie de traitement mise en œuvre (CET, incinération, compostage, méthanisation), soit 135 Nm³ par tonne de déchets biodégradables humides,
- le biogaz éventuellement produit contient 65% de méthane,
- la production de l'électricité achetée consomme 80 grammes de CO₂ par kWh, soit le niveau constaté en France avec une origine nucléaire à 75% environ,
- seuls les tonnages de composés organiques biodégradables sont pris en compte pour les calculs.

Les niveaux d'émission de gaz à effet de serre, en kg - équivalent CO₂ / habitant /an sont les suivants :

- simple CET : 349 kg/hab./an
- CET avec récupération de 50% du biogaz : 210 kg/hab./an
- 100% méthanisation : 63 kg/hab./an
- multi-filières : 84 kg/hab./an

Q2

Emissions de CO₂ : ordres de grandeurs
Diverses stratégies, base nationale, hors collectes (t/an équivalent)

Mode de gestion des biodéchets des OM	100% en CET	100% en CET	100% en méthanisation	Gestion multifilières
% biodéchets en méthanisation			100%	25%
% biodéchets en compostage				25%
% biodéchets en incinération				35%
% biodéchets mis en CET	100%	100%		15%
% biogaz CET récupéré / valorisé	0%	50%		50%
biodéchets par méthanisation (t/an)			14 850 000	3 712 500
biodéchets par compostage (t/an)			0	3 712 500
Nombre d'unités de type 25000 t/an			594	148,5
CO ₂ émis (t/an)	20 924 578	12 431 240	3 937 902	5 211 903
CO ₂ / électricité (t/an, gain si < 0)		182 086	-172 260	-158 138
Total CO₂ éq. émis (balance, t/an)	20 924 578	12 613 326	3 765 642	5 053 764
kg CO₂ éq. émis / habitant	349	210	63	84

Séminaire EUROFORUM « Méthanisation » du 29-30/1/2003 : Développement durable et réduction des émissions de gaz à effet de serre

Nous pouvons en tirer les conclusions suivantes :

- l'enjeu de réduction porte sur environ 250 kg/habitant/an de CO₂ équivalent, soit environ 15 millions de tonnes par an.
- la récupération effective de 50% du potentiel biogaz en CET ne diminue que du tiers l'impact de cette voie sur l'effet de serre,

- la méthanisation de la totalité du flux est la voie la plus performante de réduction des émissions de gaz à effet de serre, d'un facteur de 5 à 6 par rapport à la simple mise en décharge et sans prendre en compte la valorisation de chaleur en cas de cogénération à partir du biogaz de méthanisation industrielle,
- 25% de traitement par méthanisation réduit de 75% les émissions et représente une capacité équivalente de traitement d'environ 150 unités de 25 000 t/an de déchets organiques.

Approche d'enjeux au niveau local

Elle complète l'évaluation précédente, en terme d'impact de substitution de sources locales ou importées d'énergies.

Cinq tailles d'usines ont été envisagées, de 25 000 t/an (environ 150 000 habitants, 420 kg/habitant/an d'OM et 80 kg/hab./an de déchets verts) à 300 000 t/an (environ 2 200 000 habitants, 500 kg/habitant/an d'OM et 60 kg/hab./an de déchets verts).

Trois cas de méthanisation sont envisagés pour chacune des tailles :

- traitement des seuls biodéchets par méthanisation,
- traitement de biodéchets collectés sélectivement et stabilisation des composants organiques des ordures résiduelles,
- valorisation partielle de biogaz sous forme de carburant

Pour ce dernier cas, il a été supposé, selon les cas :

- des collectes d'OM 5 à 6 jours par semaine
- 4 à 6 tournées par jour
- 5 tonnes collectées par tournées

Les hypothèses complémentaires sur les générateurs de valorisation sont les suivantes : 8000 heures par an, rendement électrique moyen de 35% et rendement thermique de cogénération de 45%.

Les enjeux de création énergétique locale sont les suivants :

- taille économique minimale dans les conditions françaises actuelles (25 000 t/an) :
 - o 0,8 à 1,7 MW électriques
 - o 1 à 3,3 MW thermiques
- taille d'une grande agglomération (>2 millions d'habitants) :
 - o 8 à 28 MW électriques
 - o 11 à 36 MW thermiques

Q2

Energie et émissions de CO² : enjeux locaux
Cas de 6 tailles différentes d'usines : résultats

t/an entrée usine	25 000	45 000	100 000	150 000	300 000
stratégie biodéchets					
MW pci (base 8000 h/an)	2,3	4,0	8,7	12,6	24,6
MW él. potentiel Rdt 35%	0,8	1,4	3,0	4,4	8,6
MW thermique Rdt 45%	1,0	1,8	3,9	5,7	11,1
biodéchets + stabilisation					
total biogaz produit (Mm3/an)	7,8	15,2	36,3	59,0	128,5
MW pci (base 8000 h/an)	4,9	9,5	22,7	36,9	80,4
MW él. potentiel Rdt 35%	1,7	3,3	7,9	12,9	28,1
MW thermique Rdt 45%	2,2	4,3	10,2	16,6	36,2
CO₂ de carburant de collectes OM					
(biogaz carburant) % prod.	9%	9%	10%	11%	11%
CO ₂ carburant (t/an)	-1 452	-3 103	-8 108	-14 211	-33 110
CO ₂ fossile évité (kg/hab/an)	-9,5	-10,8	-12,2	-13,5	-14,9

Séminaire EUROFORUM « Méthanisation » du 29-30/1/2003 - Développement durable et réduction des émissions de gaz à effet de serre

L'alimentation énergétique sous forme de biogaz carburant pour la flotte des véhicules de collectes représente 8 à 12% du biogaz produit.


Méthanisation et effet de serre dans le traitement des eaux

Il existe également un impact de la méthanisation dans un autre secteur de la gestion urbaine : celui du traitement des eaux usées.

En effet les réactions biologiques de la méthanisation conduisent, à un degré comparable de dégradation de la matière organique, à une production intracellulaire beaucoup plus faible d'ATP, principal vecteur énergétique intracellulaire qu'en cas de métabolisme aérobie.

Aussi la reproduction de la biomasse bactérienne est plus lente et la quantité de boues bien plus faible en cas de traitement principal par méthanisation qu'avec un traitement classique en aérobose par boues activées, tel qu'appliqué par la plupart des stations d'épuration.

Ces boues anaérobies sont aussi plus faciles à déshydrater.

Q1  **Déchets ménagers assimilés et effet de serre ?**
Cas particulier des boues de STEP (base exemple de glucides)

Méthanisation : $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3 CH_4 + 3 CO_2 + 2 ATP$
 + Énergie (électricité/chaueur) → peu de biomasse

Compostage : $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O + 36 ATP$
 + Énergie (kWh) → beaucoup de biomasse

Chaque tonne de boue produite est une source indirecte d'émission de CO₂ fossile par consommation d'énergie :

- fabriquer et transporter la chaux (si chaulage)
- et si épandage : stockage, reprise, transport, épandage
- si incinération : pour pré-séchage et/ou incinération

Séminaire EUROFORUM « Méthanisation » du 29-30/1/2003 - Développement durable et réduction des émissions de gaz à effet de serre

Les impacts sur les niveaux d'émissions de gaz à effet de serre d'une entité urbaine sont actuellement (volontairement ?) non pris en compte dans les choix de procédés et de distribution de subventions d'investissement. Ils interviennent pourtant à plusieurs niveaux :

- directement, par la production et la valorisation de biogaz
- indirectement :
 - o réduction de la consommation d'électricité nécessaire au traitement des eaux,
 - o réduction de l'énergie consommée pour la fabrication de la chaux (si chaulage)
 - o réduction de l'énergie dépensée pour le stockage, transport, épandage des boues, ...

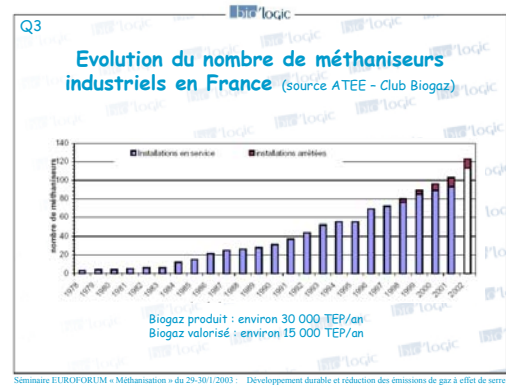
Etat de la filière en France

Il est peu satisfaisant intellectuellement de constater la faible application de la méthanisation pour le traitement des déchets solides et liquides en France : on ne compte en effet aujourd'hui que deux installations de traitement des ordures ménagères (une supplémentaire est en construction), et une centaine d'installations en industries, principalement agro-alimentaires.

Or notre pays a été un précurseur de ces techniques dans les années 40 puis les années 80. Les réalisations étrangères chez nos voisins (Allemagne, Pays-Bas, Suisse, Belgique, Espagne, ...) sont bien plus nombreuses, sur tous les segments de marché.

La situation évolue, mais à toute petite vitesse dans le segment des déchets ménagers :

- un marché tout récemment passé, en Martinique
- quatre appels d'offre en cours,
- trois autres en projets.



Les causes multiples de blocage de cette filière en France

Les premières relèvent d'idées reçues qui restent pour beaucoup d'actualité, avec seulement une part de vérité et donc éminemment critiquables quant elles sont énoncées de manière définitive, tel un couperet :

- « cela ne marche pas, d'ailleurs la première usine est un échec (!) » ;
- l'opposition au nucléaire : « ce n'est pas la méthanisation qui va remplacer des dizaines de réacteurs nucléaires » ;
- « la multiplication de ce type d'installation va déséquilibrer le réseau de distribution d'électricité » d'où l'imposition de gros frais de raccordement alors qu'il s'agit d'une production régulière de base ;
- « c'est un truc d'écolo, pas crédible et incontrôlable » (*car décentralisé*)

D'autres résultent d'une méconnaissance de décideurs ou de rigidité intellectuelle ou de mauvaise volonté patente de certains hauts fonctionnaires clés d'administrations de tutelles :

- seules les règles et les normes françaises sont « valables », quels que soient les contre-exemples évidents Outre-Quévrain, Outre-Rhin ou au-delà des Alpes/Pyénées ;
- il n'est pas question de favoriser les tarifs de rachats d'électricité verte, et encore moins de prendre en compte l'impact direct et indirect sur les émissions de CO² ;
- il ne semble pas exister d'analyse stratégique systémique pour l'orientation des choix de développement de filières et des calculs de critères d'aides à l'investissement ;
- il n'est pas question de toucher aux règles fiscales et encore moins d'envisager une suppression de TIPP à un carburant « créé » localement et non « importé » ;
- il n'est pas question de déstabiliser le marché très juteux des moteurs Diesel de nouvelle génération (=> tout est bon pour freiner le développement du gaz carburant) ;
- il n'est pas question de remettre en cause certains choix de procédés de traitement des eaux urbaines, malgré l'impasse actuelle évidente de la valorisation agricole des boues ;
- des postes « clés » de décisions vis-à-vis du développement de la filière sont encore occupés par des personnes qui ont tout fait pour la bloquer (absence de projection ou myopie intellectuelle plus ou intérêt de carrière professionnelle) ;
- ...

D'autres enfin sont liées aux conditions françaises de production d'électricité par EDF :

- en moyenne seulement 80 grammes de CO₂ émis par kWh électrique produit;
- l'électricité issue du biogaz est une production de base, comme celle d'origine nucléaire, sans intérêt pratique que la préoccupation d'EDF est de mieux répondre aux demandes de pointes de puissance ;
- EDF ne veut pas supporter seul le surcoût de l'électricité « verte » par rapport celui de son prix de revient calculé en interne.

S'il paraît logique que cette société n'ait pas à subventionner sur ses fonds propres et sa marge d'exploitation ce « surcoût », il n'est pas normal que l'Etat se défasse de son rôle d'actionnaire en charge de l'intérêt collectif à long terme, alors qu'il a par ailleurs totalement financé – par l'impôt – le développement de bien d'autres filières (dont le nucléaire, mais qui avait l'énorme avantage d'être à la fois militaire et civil).

On peut donc considérer que l'Etat, tous gouvernements confondus, ne s'est pas donné depuis 20 ans les moyens de promouvoir cette filière. Il ne semble pas – jusqu'à ce jour - que le gouvernement actuel veuille réellement le faire au de-là des discours, ni en valeur ni en terme de rythme nécessaire, pour permettre d'atteindre réellement les objectifs de développement durable auquel la France s'est engagé internationalement.

Quelques pistes de déblocage réel de la situation

Une réaction salutaire pourrait être obtenue par effet de levier sur trois types modalités complémentaires :

1 – Pour changer de regard de décideurs clés (actuels et futurs)

- Mettre en place quelques actions, bien conçues, de formation continue (haute fonction publique, députés, sénateurs) pour casser les préjugés et actualiser les connaissances ;
- Accepter, avec modestie et objectivité, la prise en compte des enseignements (techniques et réglementaires) acquis et totalement validés à l'Etranger ;
- Mieux positionner la méthanisation vis-à-vis de son impact environnemental à moyen terme, en recherchant les synergies nécessaires avec EDF compte tenu de la structure française de production d'électricité ;
- Renouveler les hommes à certains postes clés.

2 - Pour susciter les projets économiquement réalistes

- Intégrer dans les évaluations économiques de projets de traitement des déchets ménagers l'application du critère quantitatif d'émission directe et indirecte de deux principaux gaz à effet de serre (CO₂ et CH₄) ;
- Clarifier qui doit payer la prime de production d'électricité non nucléaire non polluante,

- Rendre cohérente la réglementation relative aux équipements,
- Maintenir le principe (et adapter) les aides à l'investissement de l'ADEME,
- Faciliter le développement du biogaz carburant en levant les obstacles réglementaires et fiscaux spécifiques à notre pays.

3 - Pour relancer l'offre technologique française (ingénieries et fournisseurs)

- Lancer des concours pour l'optimisation d'équipements clés,
- Susciter une optimisation globale de conception des installations par une réflexion sur la notion de gamme et de capacité type (effet de série),
- Susciter des modalités spécifiques d'aide de R&D appliquée, publique et privée, sur des points techniques clés intervenant comme des verrous ou des freins.

En conclusion

L'impact des réactions de méthanisation des déchets urbains sur l'effet de serre dépend des conditions de la dégradation et de l'utilisation du biogaz :

- il est réel et maximal pour tout le biogaz qui se dégage sauvagement des décharges,
- il est plus faible en cas de récupération partielle avec une combustion en torchère,
- il est nul en cas de méthanisation en digesteur avec une combustion en torchère,
- il est négatif (participe activement à la réduction) en cas de méthanisation en digesteur avec valorisation énergétique.

La réduction des émissions de gaz à effet de serre intervient selon plusieurs modalités :

- directement, par un double effet :
 - o la substitution des combustibles fossiles,
 - o l'amélioration du rendement de combustion des générateurs utilisant un combustible gazeux plutôt qu'un carburant liquide ou solide, qui s'accompagne généralement aussi d'une réduction d'autres gaz à effet de serre non pris en compte pour cette approche (NOX en particulier),
- indirectement en cas de production d'électricité, en substituant celle du marché qui provient en partie de la combustion de carburants.

Le réel développement de cette filière en France suppose une révolution des esprits et des stratégies de décision pour la sortir de sa léthargie. Nos élus doivent bien en comprendre les enjeux à moyen et long terme au regard de ses impacts sur les émissions équivalentes de gaz à effet de serre par habitant et être capables d'imposer au Ministère de l'Industrie une simplification réglementaire autour du thème biogaz et au Ministère des Finances les modalités fiscales qui s'imposent.

Puisse ce séminaire y avoir participé.

Quelques références bibliographiques

- World Key Energy Statistics, IEA (Agence Internationale de l'Energie)
- Inventaire des émissions de gaz à effet de serre en France. CITEPA. Décembre 2001
- Renewables Information, IEA (Agence Internationale de l'Energie), édition 2002
- Les installations industrielles de méthanisation en 2001. ATEE – Club Biogaz, novembre 2001
- Biogaz Upgrading and utilisation, IEA (Agence Internationale de l'Energie), Task 24
- Biogas and More – Systems and market overview of anaerobic digestion, IEA (Agence Internationale de l'Energie), July 2001

François CAYROL

Ingénieur en agro-alimentaire (ENSIA), Gérant

*BIO'LOGIC Assistance** a pour domaine d'activité la gestion des sous-produits et déchets organiques. Elle assure diverses missions d'assistance à maîtrise d'ouvrage et de maîtrise d'œuvre (création ou transformation d'usines ou d'installations), des expertises de sites en exploitations, des études technico-économiques de faisabilité, des formations techniques poussées en université (DESS) ou en grandes écoles (ENSAM, Mines de Douai), pour la fonction publique territoriale (CNFPT, ENACT) et pour des exploitants. La société a accompagné un des sites pilotes du programme QUALORG et a réalisé en 2002 une expertise d'usines espagnoles de compostage industriel moderne d'ordures « grises » et de pratiques d'usage de ce compost pour le compte de l'agence régionale pour l'environnement (ARPE) de la Région PACA.

BIO'LOGIC Assistance a aussi réalisé diverses études de faisabilité de projets de méthanisation (codigestion, valorisation de biogaz), des expertises de procédés de méthanisation pour l'ADEME, et assure actuellement l'Assistance à Maîtrise d'Ouvrage du SEVADEC (62) pour la mise en place de sa future usine de méthanisation de biodéchets (27000 t/an). La société est intervenue également à l'étranger (Pologne, Thaïlande).

François CAYROL fut de 1984 à 1993 le responsable du Département Recherche Appliquée puis le Directeur scientifique de la société VALORGA (S.A. puis Process S.A.). Il a créé BIO'LOGIC Assistance en juin 1997.

* 685 rue Jean Perrin - 59500 DOUAI (Tél. +33 (0)3 27 99 78 15 et mobile : 06 08 63 00 62) Email : contact@bioetlogic.com