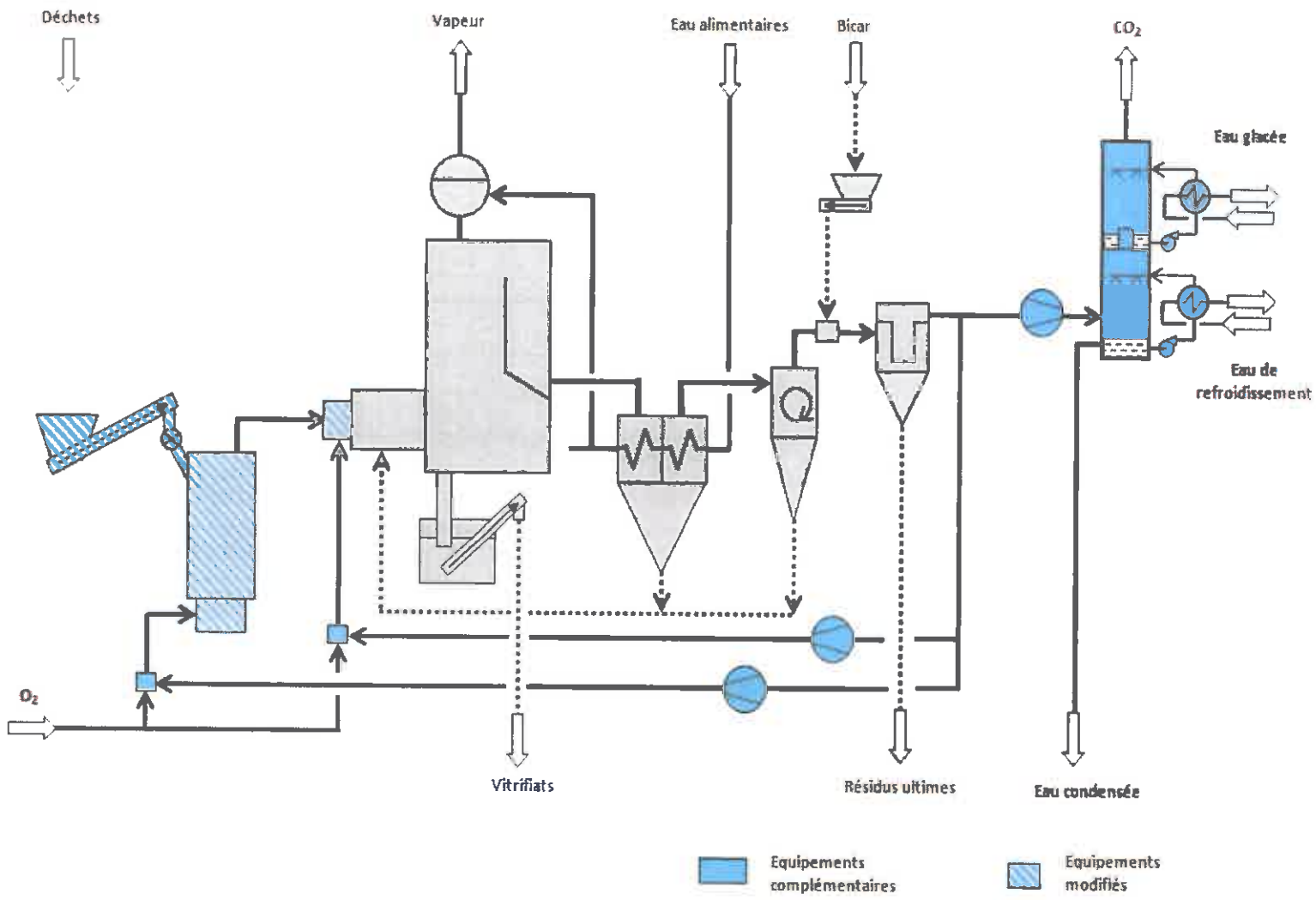
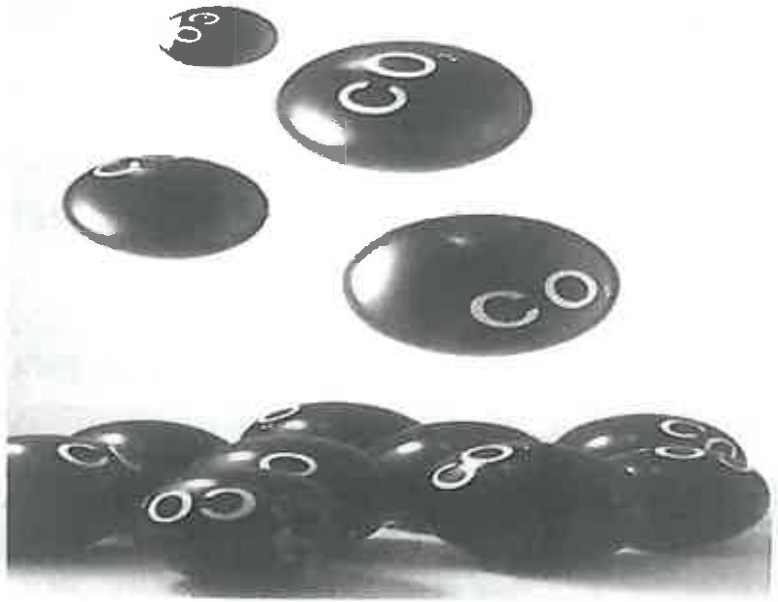
Adaptation du procédé Pyroal à la capture du CO2



Comparaison des techniques de valorisation des déchets

	INCINERATION	GAZEIFICATION
Préparation du déchet	non	Élaboration d'un CSR
Atmosphère de traitement	Oxydante	Réductrice
Chaleur de réaction ΔH	Exothermique (ΔH < 0)	Endothermique (ΔH > 0)
Agent réactif	Oxygène (air)	Vapeur d'eau
Réaction thermochimique	$C + O_2 \rightarrow CO_2$ (oxydation)	$C+H_2O \rightarrow CO+H_2$ (vapo-gazéification)
Mode de conduite	Excès d'air (f = 1,8-2)	Défaut d'air (f = 0,1-0,2)
Produits de réactions	Fumées neutres	Gaz de synthèse combustible
Température de traitement	950-1000°C	500-550°C
Volume de gaz généré	4500 à 5 500 Nm^3/ T déchets	1800 à 2500 Nm^3/ T déchets
Volume de fumées rejeté à l'atmosphère	3- 3,1 Nm^3/ thermie déchet	1,6-1,7 Nm^3/ thermie déchet
Limite de PCI	< 3000 Kcal/Kg	> 3000 Kcal/Kg
Teneur en carbone fixe des résidus solides	2 - 4%	< 0,5%
Coût d'investissement (rapporté au débit déchet)	3,8 M€/(T/h) (PCI entrant = 2200 kcal /kg)	3,15 M€/(T/h) (PCI entrant = 3870 kcal/kg)
Coût d'investissement (rapporté à la puissance thermique déchet entrant)	1,48 M€/ $MWth_{entrant}$	0,7 M€/ $MWth_{entrant}$

Captation et valorisation du CO_2



La captation du CO_2

Le procédé retenu consiste à séparer l'azote de l'air afin de n'utiliser que l'oxygène pour alimenter l'étage pyrolytique ainsi que le brûleur de la chaudière.

L'oxy-combustion sur gaz existe dans l'industrie mais cette technique éprouvée n'a jamais encore été mise en place sur un pyrogazéifieur.

Toutefois, comme cette technique est éprouvée et que les éléments concernés du pyrogazéifieur sont également connus et éprouvés, l'adaptation en est facile.

Comme il faut maintenir un certain débit d'entrée pour assurer le bon fonctionnement du lit fluidisé, il convient de recycler une partie des gaz brûlés en substitution du ballast azote contenu dans l'air comburant.

Ce procédé est très courant puisqu'il est monté par exemple sur les voitures et les poids lourds : c'est le recyclage des gaz d'échappement ou EGR (exhaust gas recycling).

La valorisation du CO_2

- **SEMARDEL, membre fondateur de l'association ACRUS**

(Association for Carbon dioxyd Recycling Units & Systems and zero emission transports)

association pour l'étude et la mise au point de techniques de valorisation du CO_2

Adhérents:

- L'Université Paris-Sud Orsay et son laboratoire ICMMO (91),
- CETH (91),
- CETIM – le Centre d'Études Techniques des Industries Mécaniques,
- RHODIA,
- Un groupe d'énergie,
- Des centres de recherche de grands groupes,
- SEMARDEL.

La valorisation du CO_2

UTILISATIONS ACTUELLES

Sert à la production de produits de base de l'industrie chimique et de l'industrie des matières plastiques :

- Formol HCHO, méthanol CH_3OH, acide formique HCOOH, carbonate de sodium, etc …

Industries alimentaires :

- Eaux minérales, boissons gazeuses, gaz de conservation des denrées alimentaires, etc…

UTILISATIONS FUTURES

Fabrication de Biocarburants

- par synthèse chimique
- par Phyto-production (micro algues)

Pétrochimie:

- récupération de pétrole dans les puits déplétés.
- stockages stratégiques en couches profondes

Les autres outils de gazéification en fonctionnement

Exemples d'unités de pyrogazéification

UNITES EN EXPLOITATION



- *Usine de traitement des déchets de Reykjavik (Islande)*

- *Usine de traitement de déchets d'OTTAWA (Canada)*
- *Usine de traitement de déchets de l'aéroport de BUDAPEST (Hongrie)*



- *Unité industrielle de LACQ (France)*

PROJETS EN COURS EN FRANCE

- *Unité de traitement des produits soufrés TOTAL GAZ (Lacq)*
- *Unité de traitement des OMR de PEZENAS*
- *Unité de traitement des OMR d'ARRAS*



Unité expérimentale ENERIA

1er étage: Lavage des goudrons lourds avec du goudron liquide et recyclage dans le gazogène

3ème étage: Lavage des goudrons légers à l'huile

4ème étage: transfert des goudrons légers de l'huile dans de l'air chaud qui alimente le gazogène



Torches à plasma (procédé HERA)



Torches 250 kW

L'unité Plasco d'Ottawa











- Le rendement de conversion thermochimique du pyrolyseur est donc de : 82,97%
- Le rendement global de conversion (chaleur sensible + contenu thermochimique) est donc de : 95,5%

77

Synthèse

État des lieux et potentiel du biométhane carburant

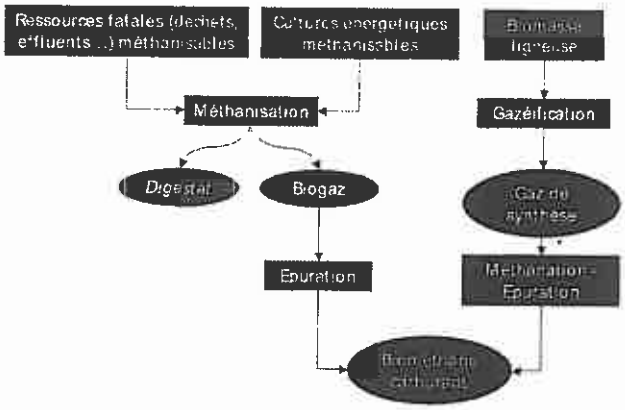
Étude ADEME, AFGNV, ATEE Club Biogaz, GDF SUEZ, IFP, MEEDDAT

Ce document présente les filières de production du biométhane carburant et les ressources à mobiliser pour ces productions. Le potentiel de chaque type de ressource et les coûts de production associés sont détaillés. Enfin, l'impact de ce biocarburant gazeux sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre est évalué.

Le biogaz est un mélange composé essentiellement de méthane (CH_4) et de gaz carbonique (CO_2) produit par fermentation anaérobie (en absence d'air) de matières organiques. La fermentation anaérobie est un processus naturel à l'origine des phénomènes comme les feux follets.

Les matières organiques (ou biomasse) nécessaires pour produire des biocarburants gazeux peuvent être de deux types :

- les ressources dites fatales, déchets solides ou effluents, qu'ils soient forestiers, agricoles, domestiques ou industriels...,
- les cultures énergétiques.



1. Comment produire le biométhane carburant ?

Le biométhane est du biogaz qui a été épuré pour être similaire à du gaz naturel (pouvoir calorifique, composition). Il peut être valorisé comme biocarburant gazeux ; on parle alors de **biométhane carburant**. Il s'utilise exactement comme le gaz naturel, nécessitant pour alimenter un véhicule d'être comprimé à 200 bar par une station de compression.

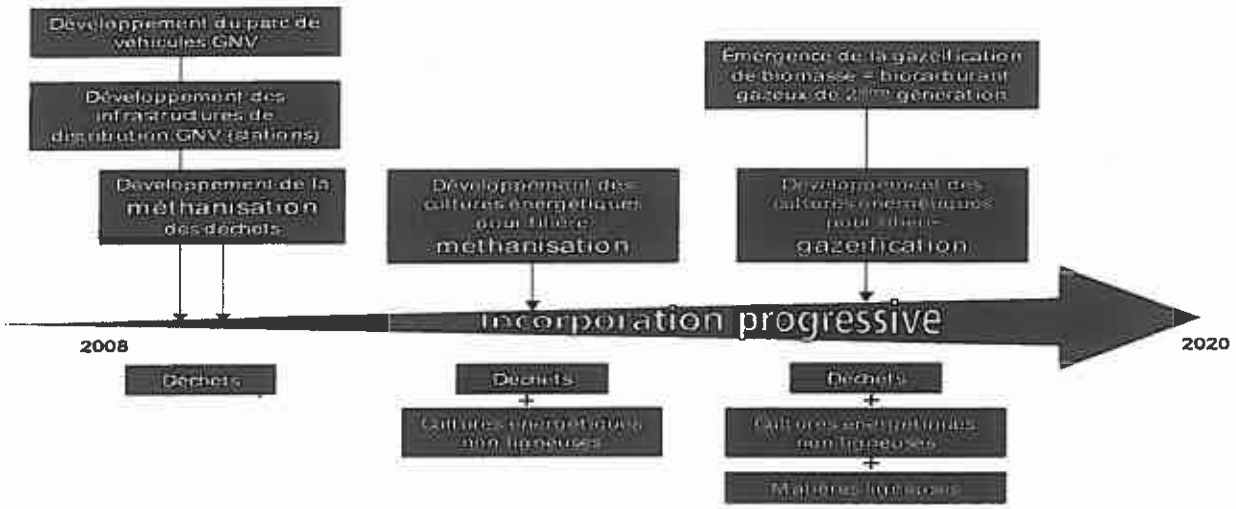
Plusieurs voies de production pour le biométhane

- **A court terme**, il s'agit d'utiliser des **déchets ou effluents d'origine organique**. Cette filière est déjà bien développée dans de nombreux pays d'Europe. En France, la filière est en plein développement ces dernières années.
- **A moyen terme**, la production de biométhane pourra être éventuellement réalisée à partir de **cultures** énergétiques (Sorgho Biomasse par exemple).
- **A plus long terme**, la **gazéification** de la biomasse issue de ressources lignocellulosiques est également envisageable.

Le biométhane ayant une qualité similaire à celle du gaz naturel, l'incorporation de biométhane dans le GNV[1], quelle qu'en soit la proportion, peut être réalisée sans modification des véhicules fonctionnant au gaz naturel, ni des infrastructures de distribution associées. **Ces deux carburants sont tout à fait complémentaires, dans la mesure où le biométhane apporte une part renouvelable au GNV, mais il ne pourra se développer que si la filière GNV est elle-même bien implantée**.

Les investissements dédiés au GNV (technologie moteur, accroissement du nombre de stations) participent donc au développement progressif du biométhane carburant.

[1] GNV : Gaz Naturel pour Véhicules



Le biométhane issu de ressources fatales : un carburant renouvelable attractif, en plein développement

A l'échelle industrielle, deux types de production du biogaz peuvent être cités :

- l'installation de stockage de déchets non dangereux : le biogaz est issu de la dégradation spontanée de la fraction fermentescible des déchets ménagers et assimilés enfouis. La production de biogaz peut durer, en mode de gestion classique, environ 20 à 30 ans.
- la méthanisation en digesteur : le processus de base de « méthanisation » a été mis en œuvre industriellement via la technologie de méthanisation ou de digestion anaérobie. Après avoir été débarrassée des composés indésirables, la matière organique est introduite dans un réacteur, appelé digesteur, maintenu à des températures de l'ordre de 35°C ou 50-55°C selon le procédé ; le temps de séjour peut avoisiner une vingtaine de jours. En plus du biogaz, il est également produit un digestat qui peut être traité et composté pour aboutir à un produit organique valorisable.

Par son caractère renouvelable, le biogaz contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Il peut être transformé en chaleur, en électricité et/ou, à condition qu'il soit correctement épuré, en un biocarburant gazeux.

Le biométhane carburant est fortement développé en Suède et en Suisse. En France, c'est une filière encore en émergence. A titre d'exemple, le projet de Lille Métropole traite 108 000 t de biodéchets avec pour objectif de produire suffisamment de biométhane pour alimenter une centaine de bus. Cette expérience avait déjà fait ses preuves, pendant 10 ans, par l'opération de démonstration de la station d'épuration de Lille-Marquette où le biogaz issu de la digestion anaérobie des boues urbaines a permis, après épuration, d'alimenter 4 bus.

Le biométhane issu de cultures énergétiques : une filière en débat

Au-delà du potentiel biométhane associé au gisement que représentent les déchets, un potentiel important pourrait être atteint à moyen terme grâce à l'utilisation de surfaces agricoles pour la production de cultures dédiées méthanisables, sous réserve que celles-ci ne soient pas en concurrence avec les filières alimentaires, ou d'autres filières énergétiques ou matériaux.

Il y a lieu de souligner que la méthanisation présente un atout spécifique, le digestat, sous-produit organique valorisable en amendement, qui peut être utilisé sur les terres agricoles mobilisées pour les cultures énergétiques, en substitution aux engrais chimiques.

La méthanisation de cultures énergétiques s'est fortement développée en Allemagne, grâce à une fiscalité avantageuse ; toutefois, la plante majoritairement utilisée est le maïs dont le pouvoir méthanogène est intéressant, mais dont la culture pour un usage énergétique fait face à différents questionnements : besoins en irrigation, hausse des prix, etc. Il est donc essentiel d'identifier des plantes qui permettront de produire du biométhane carburant de façon encore plus durable (luzerne, sorgho...).

A plus long terme, la production par gazéification

Le biocarburant gazeux peut aussi être produit à partir de biomasse ligno-cellulosique par une première étape de gazéification, suivie d'une étape de méthanation.

Ce processus permet de produire du Substitute Natural Gas (SNG). Aujourd'hui, la gazéification et la méthanation sont technologiquement connues, mais elles doivent être adaptées à la biomasse ; la technologie de production de SNG est encore au stade de démonstration. Cette filière, complémentaire de la production de biocarburants liquides de seconde génération, se positionne sur une biomasse différente de celle utilisée pour la digestion anaérobie (plus ligneuse et moins humide). A long terme, elle permettrait donc d'atteindre un potentiel de biocarburant gazeux encore plus important que celui constitué uniquement par les déchets.

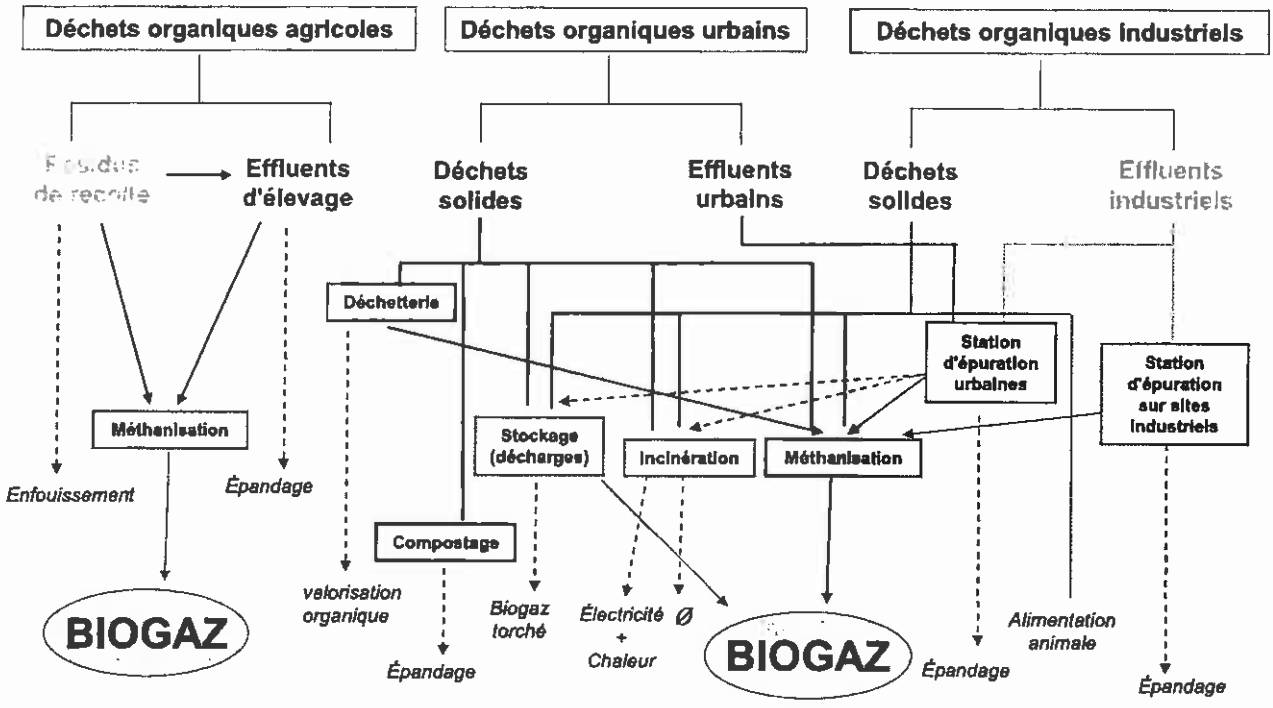
Elle devrait se positionner favorablement au sein des biocarburants de seconde génération grâce à des rendements énergétiques élevés, supérieurs à 60%. Les tailles d'installation de production de biométhane carburant par cette filière pourront être adaptées à un approvisionnement local en biomasse et à une valorisation locale aisée de la chaleur co-produite.



2. Le potentiel de production de biométhane carburant

Les ressources fatales fermentescibles en mesure d'alimenter la production de biométhane peuvent être issues de trois principaux secteurs : l'agriculture (résidus de récolte, effluents d'élevage), les collectivités (une part des ordures ménagères et déchets verts, boues de STEP etc.), l'industrie (déchets de procédés de transformation, eaux de lavage etc.).

Une partie de ces déchets peut être recyclée (papiers, cartons notamment), une autre peut être utilisée comme apport de matière organique aux sols agricoles (enfouissement des pailles, épandage) et également permettre la production d'énergie (combustion de gaz de décharge, incinération, méthanisation



En fonction des valorisations existantes de chacun des déchets, peuvent être définis :

- un "potentiel total" de biogaz produit à partir de la totalité du gisement de déchets fermentescibles produits, sans tenir compte des filières de valorisation actuelles,
- un "potentiel hors valorisation" de biogaz (ou potentiel minimum) produit à partir des déchets déjà valorisés en biométhane ainsi que des déchets non valorisés à l'heure actuelle (surplus de pailles, gaz de décharge torché, déchets incinérés sans production d'énergie etc.),
- un "potentiel hors valorisation matière" de biogaz (ou potentiel intermédiaire) excluant les déchets aujourd'hui recyclés pour une valorisation matière (industrie, amendement). Ce dernier potentiel fait l'hypothèse d'une volonté première de réduire la production de déchets, puis de valoriser énergétiquement les déchets non recyclés.

Différents potentiels de production annuelle de biogaz brut à l'échelle de la France

		Potentiel total	Potentiel hors valorisation matière	Potentiel hors valorisation
		Mtep biogaz	Mtep biogaz	Mtep biogaz
Déchets urbains	Solides	2,1	1,6	1,2
	Effluents	0,2	0,2	0,2
	Total urbain	**2,3**	**1,8**	**1,4**
Déchets industriels	Solides	2,9	0,3	0,3
	Effluents	0,4	0,3	0,3
	Total industriel	**3,2**	**0,6**	**0,6**
Déchets agricoles		**10,7**	**≤ 10,7**	**5,0**
TOTAL		**16,2**	**≤13,1**	**7,0**

Source: IFP d'après ADEME, Solagro, AND, SITA

Tenant compte uniquement de la disponibilité des ressources fatales, **la production potentielle de biogaz s'échelonne de 7 à 16 Mtep** (millions de tonnes équivalent pétrole). Le secteur agricole semble être de loin la première source de déchets organiques, suivi par le secteur industriel du point de vue de la production de déchets, mais par les collectivités du point de vue des déchets valorisables en énergie (une part importante des déchets organiques industriels étant aujourd'hui déjà valorisée en alimentation animale, en compost ou recyclés).
Le potentiel intermédiaire hors valorisation matière s'élève à près de 2,44 Mtep pour les secteurs urbains et industriels, auxquelles peut s'ajouter un potentiel intermédiaire agricole correspondant à la quantité de biogaz produit par les déchets réellement substituables par l'épandage des digestats issus de la méthanisation. Dans l'hypothèse où l'épandage des digestats permettrait de s'affranchir intégralement de l'épandage des effluents et de l'enfouissement des pailles, ce potentiel intermédiaire agricole serait proche du potentiel total. Le potentiel intermédiaire tous secteurs confondus avoisinerait alors les 13 Mtep.

Ce potentiel doit être nuancé du fait de contraintes techniques et économiques susceptibles de restreindre le développement de la production de biométhane : l'intégralité de ces ressources n'est pas forcément économiquement mobilisable, de même que l'investissement nécessaire pour atteindre une qualité carburant du biogaz ne se justifie pas dans tous les cas.
Il y a lieu de noter que la répartition du gisement varie selon les secteurs. Le secteur agricole dispose d'une ressource très dispersée en milieu rural, tandis que les secteurs industriel et urbain (OM) peuvent disposer d'importants volumes concentrés de déchets et de réseaux de transports facilités. Cette particularité pourrait potentiellement rendre les secteurs industriel et urbain prédominants en termes de ressources mobilisables techniquement et économiquement.

Pour évaluer un potentiel de production de biogaz à l'horizon 2015-2020, une première estimation, basée uniquement sur la prise en compte des parcs de méthaniseurs existants, des projets et des perspectives probables de développement par secteur de la méthanisation aboutit à une capacité totale de 1,4 Mtep de biogaz (cf. hypothèses du Tableau ci-dessous).

A ce potentiel vient s'ajouter une production en décharge, calculée à partir d'hypothèses sur le taux moyen de récupération de biogaz de l'ensemble des décharges et sur le taux de valorisation énergétique du biogaz récupéré. Cette production s'élevant à 0,87 Mtep (Source : Solagro, 2008) de biogaz à l'horizon 2020, **la capacité totale de production de biogaz représente donc 2,3 Mtep.**

Dans un second temps, la prise en compte d'une taille seuil minimum d'installation de méthanisation permettant de rentabiliser l'épuration du biogaz pour un usage carburant réduit le potentiel de près de 15%, soit un **potentiel technico-économique final de 1,9 Mtep de biométhane carburant** (ou bioGNV).

Cette taille seuil dépend du substrat utilisé et la rentabilité d'une unité d'épuration ne peut s'évaluer qu'au cas par cas i.e. projet par projet. Néanmoins, pour ce calcul réalisé à l'échelle macro économique, les hypothèses considérées sont précisées dans le Tableau ci-dessous.

Secteurs	Capacité totale 2015-2020 (Mtep)	Commentaires	Capacité de production de biogaz carburant (Mtep)	Commentaires
Agricole	0,46	Objectif du Grenelle de l'environnement pour 2013	0,34	75% du biogaz agricole (344 ktep) pourraient être produits en installations collectives de capacités suffisantes pour permettre la rentabilité économique de la production de BioGNV.
Urbains	1,09		0,86	
dont gaz de décharge	*0,87*	Dans un système optimisé 80% du méthane collecté en décharge en 2020 pourrait être converti en énergie.	*0,78*	90% des décharges auraient une capacité suffisantes pour permettre la rentabilité économique de la production de BioGNV (> 50 000 EH). Des limites cependant sur la teneur en CH_4 des gaz de décharges qui peut significativement varier.
dont méthaniseurs	*0,22*	23 projets de méthaniseurs d'OM sont annoncés (soit 63 ktep) tandis que l'équipement des STEP urbaines pourrait doubler selon l'ADEME (soit 150 ktep)	*0,08*	L'ensemble des méthaniseurs d'OM (63 ktep) et 6% des méthaniseurs de STEP (12,7 ktep minimum) aurait une capacité suffisants pour permettre la rentabilité économique de la production de BioGNV.
Industriel	0,73	Parc et projets : 0,73 Mtep	0,73	100% de la capacité industrielle totale
TOTAL	2,28		1,93	

Source: IFP d'après ADEME, Solagro[2], AND[3]

Par ailleurs, il convient de préciser deux points :

- les chiffres mentionnés correspondent à une production "brute" de biogaz et non "utile", ne tenant donc pas compte de l'autoconsommation des procédés, de l'ordre de 10% de la production "brute" d'énergie.
- les potentiels technico-économiques tiennent compte d'un critère de rentabilité de la production de bioGNV, sans toutefois la comparer aux performances technico-économiques des autres filières de valorisation possibles du biogaz brut (électricité et / ou chaleur).

[2] C.Couturier, janvier 2008, "Waste Landfilling in Europe: Energy Recovery and Greenhouse Gas Mitigation"

[3] AND International, 2004, "La marché de la méthanisation en France"

Des écarts importants existent entre les potentiels de production de biogaz calculés à partir du gisement de ressources fatales disponibles (7 à 16 Mtep) et les potentiels technico-économiques évalués à partir des parcs existants, des projets connus et des politiques actuelles de développement (2,3 Mtep soit 14 à 33% des ressources fatales disponibles). Ceci est naturellement lié à la différence des approches adoptées pour les calculs mais également à l'échéance de temps de court-moyen terme (2015-2020) considérée pour les potentiels technico-économiques, associée au faible niveau actuel de développement des filières de production de biogaz en France. Les potentiels de production centrés sur la ressource sont des potentiels de plus long terme ; correspondant à un développement massif de ces filières. A titre comparatif, les biocarburants liquides de 1ère génération sont actuellement incorporés à hauteur de 1,16 Mtep de biodiesel dans le gazole, de 0,03 Mtep d'éthanol et 0,66 Mtep d'ETBE dans l'essence. Cela correspond à un taux d'incorporation global de 3,59 % PCI[4] dans les carburants routiers consommés en France en 2007. Le potentiel de production de bioGNV issu de ressources fatales à horizon 2020 avoisine donc la consommation actuelle annuelle de biocarburants liquides sur une base énergétique.

Le biométhane issu de ressources végétales dédiées comme le bois ou les cultures énergétiques a, comme l'ensemble des biocarburants de 2ème génération utilisant les ressources lignocellulosiques, un potentiel de production nettement supérieur. Les seuls surplus de bois actuellement non valorisés mais techniquement mobilisables (en excluant donc les zones de montagne et les besoins en minéraux du sol) sont en mesure de produire près de 1.3 Mtep de gazole de synthèse ou d'éthanol ou 1.8 Mtep de biométhane de synthèse. Si l'on considère l'intégralité du gisement de bois capitalisé mais non récolté en France, ces potentiels s'élèvent respectivement à 3 Mtep et 4.4 Mtep. Il convient de noter que ces valeurs supérieures correspondent à des potentiels de plus long terme car elles supposent de mobiliser un gisement de biomasse pour lequel les conditions d'accès sont plus difficiles (zone de pentes notamment).

D'autres cultures énergétiques implantées sur terres agricoles marginales permettraient également de produire d'importantes quantités de carburants mais il reste difficile d'évaluer à l'heure actuelle le niveau de développement de ces cultures à moyen terme et la part attribuée aux différents types de biocarburants.

[4] PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur

3. Du biogaz au biométhane carburant

La chaîne de production du biométhane carburant se divise en quatre grandes étapes :

- la **production** du biogaz brut,
- l'**épuration** de ce biogaz pour en faire du biométhane,
- le **comptage**, l'**odorisation**, et la **vérification** de la qualité du biométhane,
- le **stockage** du biométhane carburant, sa distribution et sa compression à 200 bar.

Différents procédés d'épuration

L'épuration du biogaz sert à la fois à éliminer les composés indésirables et à augmenter le pouvoir calorifique du biogaz (notamment par l'élimination du CO_2, énergiquement inerte). Elle comporte généralement au moins trois étapes :

- la **décarbonatation** : le dioxyde de carbone représente le deuxième constituant principal du biogaz, après le méthane. Son élimination permet de réduire les risques de corrosion et d'augmenter le pouvoir calorifique du biogaz. Ce traitement peut être réalisé par adsorption, par lavage (eau ou autre solvant) ou par procédés membranaires ;
- la **désulfuration** : l'H_2S est toxique et, en présence d'eau, très corrosif même à faible teneur. Il peut être séparé notamment par lavage et/ou par adsorption sur charbon actif imprégné ;
- la **déshydratation** : l'eau est le principal facteur de risques de corrosion. Pour atteindre des teneurs en eau aussi faibles que dans le GNV, il est possible d'utiliser les procédés suivants : une adsorption sur alumine activée, gel de silice ou tamis moléculaire, ou bien par lavage avec un solvant hydrophile (cette dernière option étant plutôt réservée à des débits de gaz très importants).

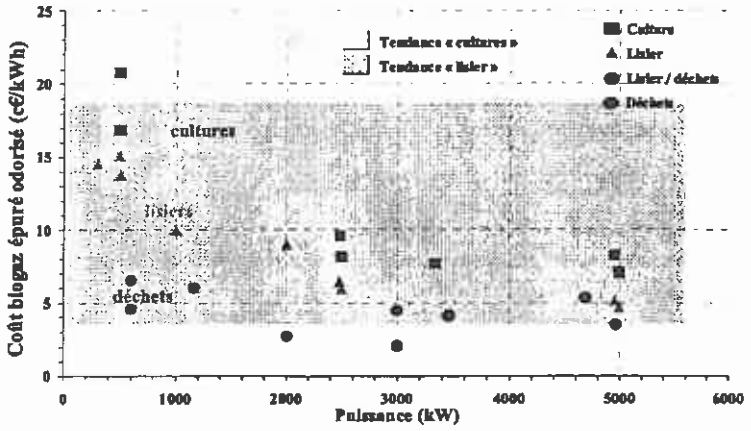
Si besoin, à ces traitements s'ajoute l'élimination d'éléments traces problématiques, notamment les métaux lourds (généralement par adsorption).

Coûts de production

Le coût de production du biogaz épuré, odorisé, contrôlé et compté, produit à partir de cultures énergétiques et de lisier se situe respectivement entre 8 et 21 c€/kWh, et entre 5 et 15 c€/kWh, et décroît lorsque la puissance augmente. Dans le cas d'une production à partir de déchets, le coût du biogaz épuré est inférieur à 7 c€/kWh, et son évolution en fonction de la puissance est difficile à estimer.

En France, le prix à la pompe du GNV est de l'ordre de 0,89 €/L équivalent diesel, c'est-à-dire environ 8 c€/kWh. **Il est difficile de définir une taille critique** pour les installations de production de biogaz. En effet, le prix à la pompe comprend les taxes éventuelles sur ce carburant, qui diffèrent selon les pays. Il inclut également les frais relatifs aux infrastructures pour acheminer le carburant du site de production jusqu'au réservoir du client.

Cependant, un projet de production de biométhane carburant à partir de déchets devrait être *a priori* plus rentable qu'un projet utilisant des cultures énergétiques. Sans redevance pour le lisier, les projets de production de biométhane s'appuyant sur cette ressource devraient également intégrer d'autres déchets organiques pour rendre ces projets plus rentables. Seule une étude au cas par cas permettrait de trancher sur la rentabilité d'un projet de production de biométhane carburant.



Le coût de production du biogaz épuré, odorisé, contrôlé et compté varie en fonction des substrats utilisés et de la puissance de l'installation de production.

Les plages tracées ne sont qu'une représentation visuelle des grandes tendances d'évolution des coûts du biogaz épuré selon le substrat considéré. Elles ne représentent pas des frontières réelles.

Nouvelles technologies et avancées attendues

La recherche actuelle vise à rendre la filière biométhane carburant plus performante :

- en modifiant les procédés existants afin d'améliorer leurs performances environnementales (par exemple en diminuant les pertes de méthane de l'installation ou en contenant les éventuelles mauvaises odeurs pouvant se dégager pendant le processus de production),
- en développant de nouveaux procédés d'épuration et des procédés adaptés aux petites installations.

Les caractéristiques du biométhane carburant permettent son incorporation dans le GNV sans limite et sans nécessité de modifications des moteurs. Pour cela, une filière GNV mûre et présente sur le territoire favorisera fortement le développement de la filière biométhane carburant, cette dernière pouvant profiter des infrastructures développées pour le gaz naturel.

4. Une contribution à la limitation des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans le secteur des transports

Le biogaz, issu de déchets ou de cultures énergétiques (cultivées de façon durable), est une énergie renouvelable : son utilisation permet donc de réduire les consommations d'énergie non renouvelable et de diminuer la dépendance aux énergies fossiles.

Cas du biométhane produit à partir de ressources fatales

Les études publiées sur le bilan environnemental de l'utilisation du biométhane ex-déchets comme carburant en substitution aux carburants fossiles mettent en avant les réductions d'émissions de GES associées :

- lors de l'utilisation, puisque les émissions de CO_2 issues des déchets d'origine biomasse sont considérées comme neutres vis-à-vis de l'effet de serre, comme pour tout type de biomasse,
- lors de sa production, la méthanisation de déchets organiques permet d'éviter les fuites de CH_4 qui auraient pu avoir lieu au cours du stockage de déchets ou du stockage d'effluents d'élevage....

Le niveau de réduction de ces émissions de GES dépend naturellement des filières considérées, selon le type de ressource convertie et les modalités de conversion (type de déchet, mode de traitement du digestat, type d'installation...). Les gains sont de l'ordre de 80% pour une utilisation du biométhane carburant issu de méthanisation de déchets organiques municipaux en substitution à l'essence conventionnelle.

Le digestat produit lors de la méthanisation de déchets organiques ou de cultures énergétiques peut être valorisé comme amendement ou fertilisant organique sur les sols en culture. Son utilisation présente certains avantages environnementaux, comme la limitation de l'apport d'engrais chimiques, grâce notamment à la forte minéralisation de l'azote du produit, et la conservation de la valeur amendante et fertilisante du déchet traité. Cependant, dans certains contextes locaux, l'utilisation des digestats peut ne pas être pertinente d'un point de vue environnemental : risques de volatilisation de l'azote lors de l'épandage, faible contenu en carbone, etc.

Cas du biométhane produit à partir de cultures énergétiques

La mobilisation de cultures énergétiques pour la production de biométhane carburant constitue une voie également intéressante : dans la mesure où il est possible de méthaniser la plante entière, la quantité d'énergie finale produite par hectare est élevée. Là encore, les performances de ces filières dépendent du choix des espèces cultivées et des itinéraires culturaux (mode de culture, type de récolte, intrants agricoles). La bibliographie rapporte toutefois des gains en termes d'émissions de GES relativement aux filières fossiles de l'ordre de 60%[5].

En France, le secteur des transports est responsable de 26% des émissions de gaz à effet de serre et de 34% des émissions de CO_2. Dans ce secteur, plus de 93% des émissions de CO_2 sont dues au transport routier. L'introduction de biométhane carburant pourrait donc permettre des réductions significatives.

[5] Börjesson et Berglund, 2007, Environmental systems analysis of biogas systems - Part 2 : The environmental impact of replacing various reference systems, Biomass and Bioenergy 31, 326-344.

Présentation du projet de méthanisation « SEMABIO » : Valorisation du biogaz en biométhane-carburant



DURAPOLE

De la biomasse à l'énergie

www.naskeo.com

DOCUMENT n° 5

Plan de la présentation

1. Présentation de Naskeo
2. Utilisation et potentiel du biométhane-carburant
3. Projet SEMABIO

La société Naskeo Environnement en chiffres

- PME indépendante, Société Anonyme
  - Capital de 63 000€
  - Levée de fonds de 2,7 M€
- 16 salariés
  - 10 ingénieurs
  - 2 techniciens
  - 3 commerciaux + 1 chargée de communication
- 2 implantations :
  - Malakoff : activités commerciales et bureau d'étude
  - Narbonne : recherche et développement, chaîne analytique
- 7 actionnaires
  - 5 personnes physiques
  - Fond d'investissements ODDO&CIE
  - Fond d'investissement XANGE PRIVATE EQUITY (Banque Postale)





Naskeo : une entreprise innovante s'appuyant sur un savoir-faire unique

Le Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement : plus de 20 ans d'expérience dans le domaine de la méthanisation



- Une recherche et développement à la pointe de la méthanisation
- De nombreuses références dans l'implémentation industrielle de méthaniseurs
- 30 permanents dédiés aux procédés biologiques anaérobies et aérobies

➢ **Naskeo bénéficie d'un contrat de recherche et de licences d'exploitation sur les technologies Proveo et Ergenium**

Un savoir-faire appuyé avec la société Biogaskontor

- CSTR : technologie en réacteur parfaitement mélangé. Simplicité et fiabilité de fonctionnement.
- Biogaskontor : société allemande spécialisée dans la construction d'installations de méthanisation des sous-produits organiques solides
- 25 années d'expérience et plus d'une centaine de références dans le domaine, de 200kWél à plus de 2MWél.
- Effluents d'élevage, cultures énergétiques, sous-produits industriels

➢ **Naskeo bénéficie d'une licence de transfert de savoir-faire sur CSTR**





5

Exemple de CSTR – Striebel
Lindehof Buttenhausen Münsingen





Réseau eau chaude



Cogénérateur

Capacité: 500 kW electr. 250 + 250 kW Schnell Dualfuel

Alimentation: ensilage de maïs, ensilage d'herbe

Réacteur: 1527 m^3 + 1527 m^3

Montée en puissance: 80 kW 1998, 500 kW 2006

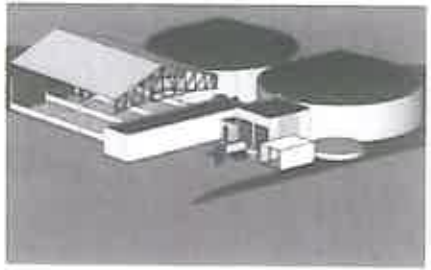
Spécial: réseau de chaleur: 1500 m zone d'habitations

Références de Naskeo Environnement

- Deux installations de traitement d'effluents organiques par méthanisation en fonctionnement.

- En cours de construction d'une plateforme de méthanisation en Normandie (400 kW_e – 18 000 t/an) (Autorisation d'Exploitation accordée).

- Deux plateformes de méthanisation en co-digestion dans la Mayenne et en Indre-et-Loire, en construction pour 2010.



Vue 3D de l'installation en construction



NP Pharm – Industrie pharmaceutique, épuration des eaux de lavage et de rinçage

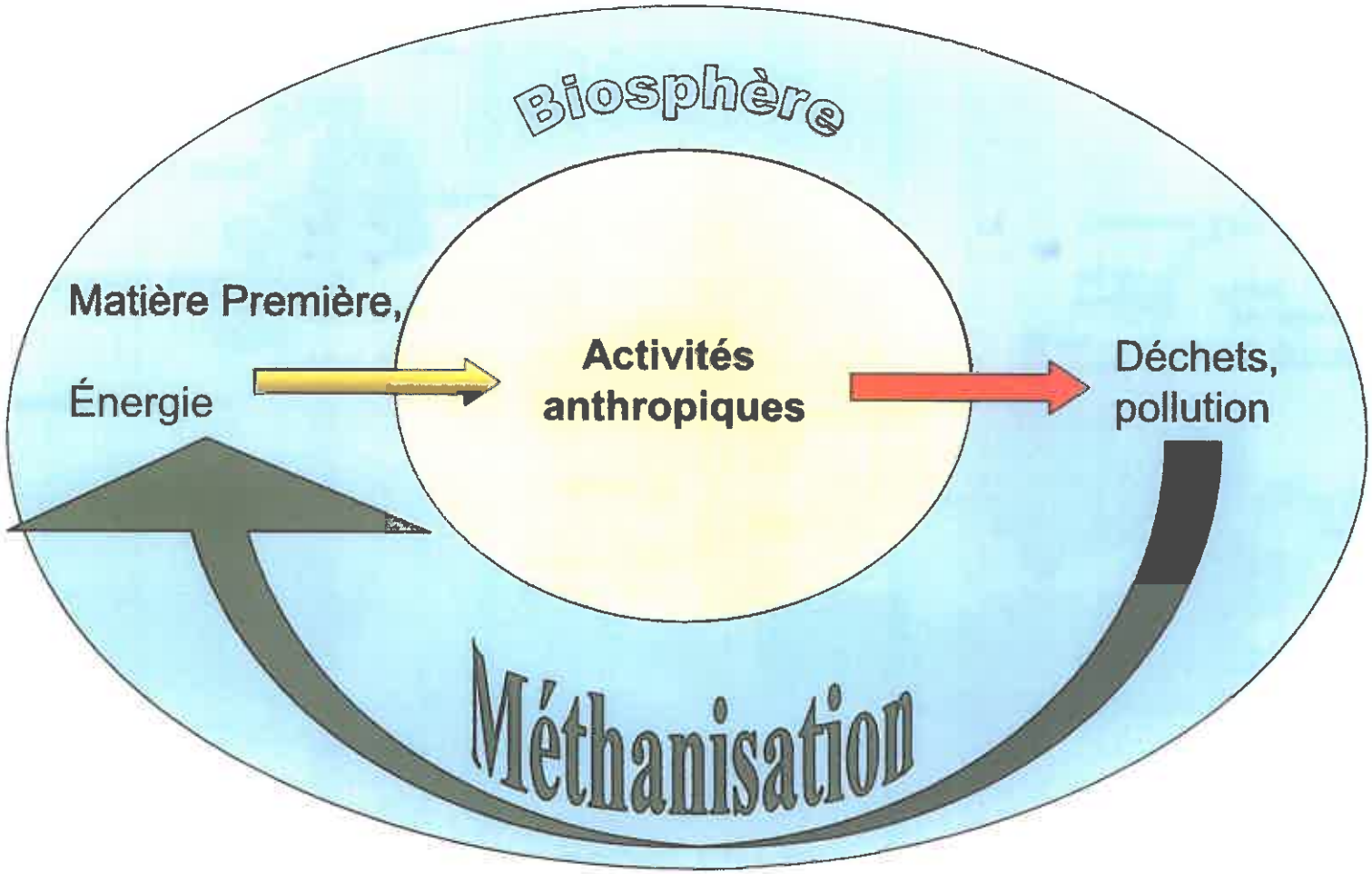


Fromagerie du Pays de Maroilles, Épuration des eaux chargées en lactosérum

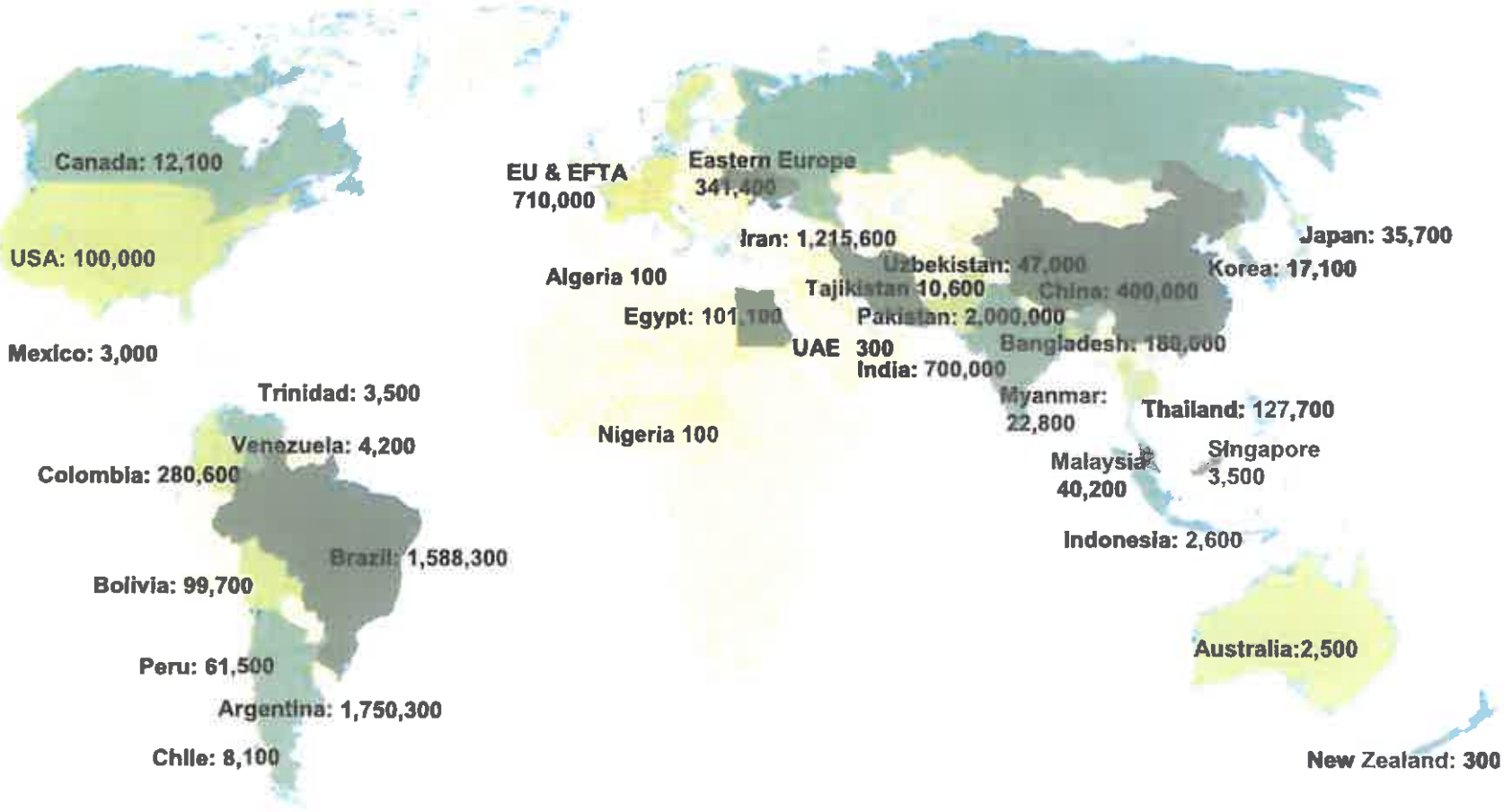
Plan de la présentation

1. Présentation de Naskeo
2. Utilisation et potentiel du biométhane-carburant
3. Projet SEMABIO

Intérêt de la méthanisation : Valorisation des déchets organiques et production d'énergie



10 millions de véhicules fonctionnant au méthane en déc. 2008. (En 2004, 4 millions)



Source: The GVR, adjusted

8,742,000 cars, 266,000 buses, 151,000 trucks, and 717,000 other vehicles now running on NG/ biomethane, using 30 billion Nm3 of methane annually (26 Mtoe). A total of 14,600 filling stations worldwide.

De la biomasse à l'énergie

www.naskeo.com

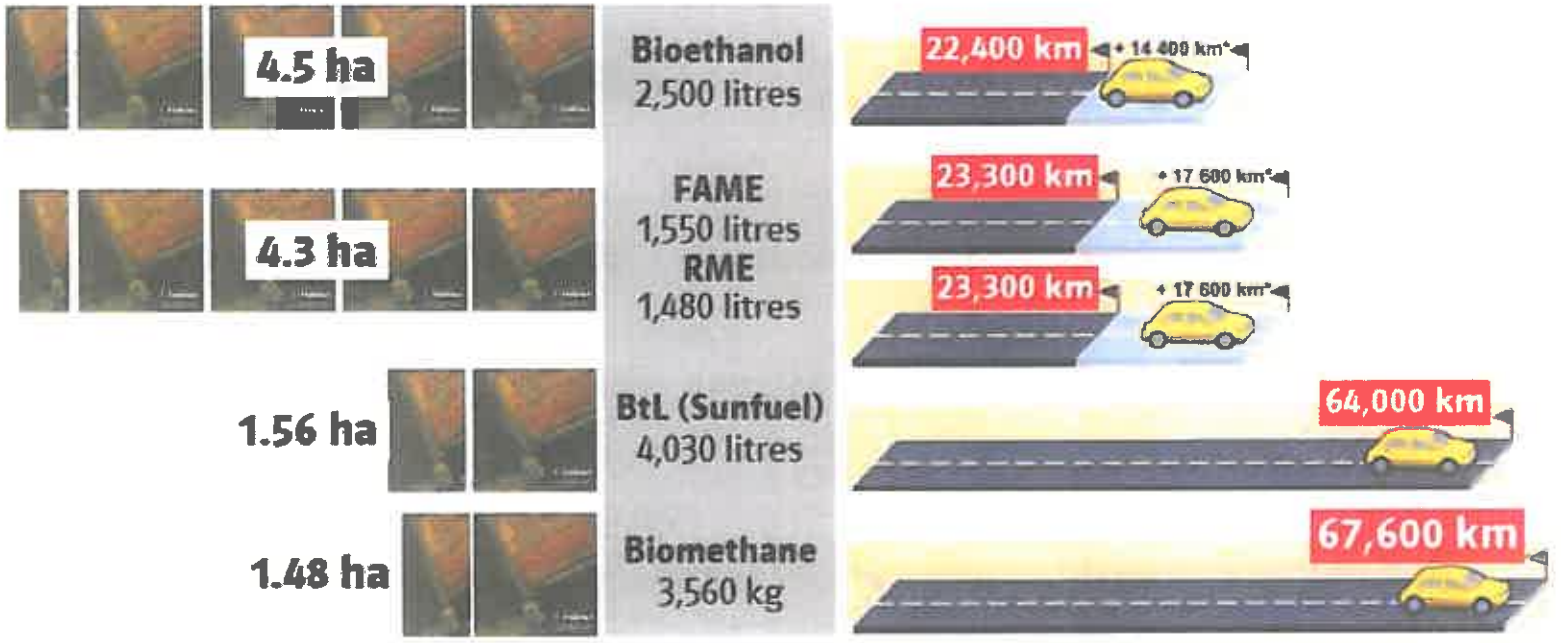
Une valorisation du biogaz qui réduit les émissions de Gaz à Effet de Serre

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV)* des filières de valorisation du biogaz donne une diminution des émissions de GES de :

- 1 566 g éq. CO_2/Nm³ de biogaz valorisé sous forme de carburant dans des voitures en substitution à l'essence
- 327 g éq. CO_2/Nm³ de biogaz valorisé sous forme d'électricité (selon le mix moyen français)

** Source: ADEME GDF Septembre 2007*

Le biométhane : un biocarburant avec la meilleure densité énergétique



Source: Renewable Raw Materials Agency

Les données ayant permis l'extrapolation du potentiel de production de biogaz

Hypothèses:

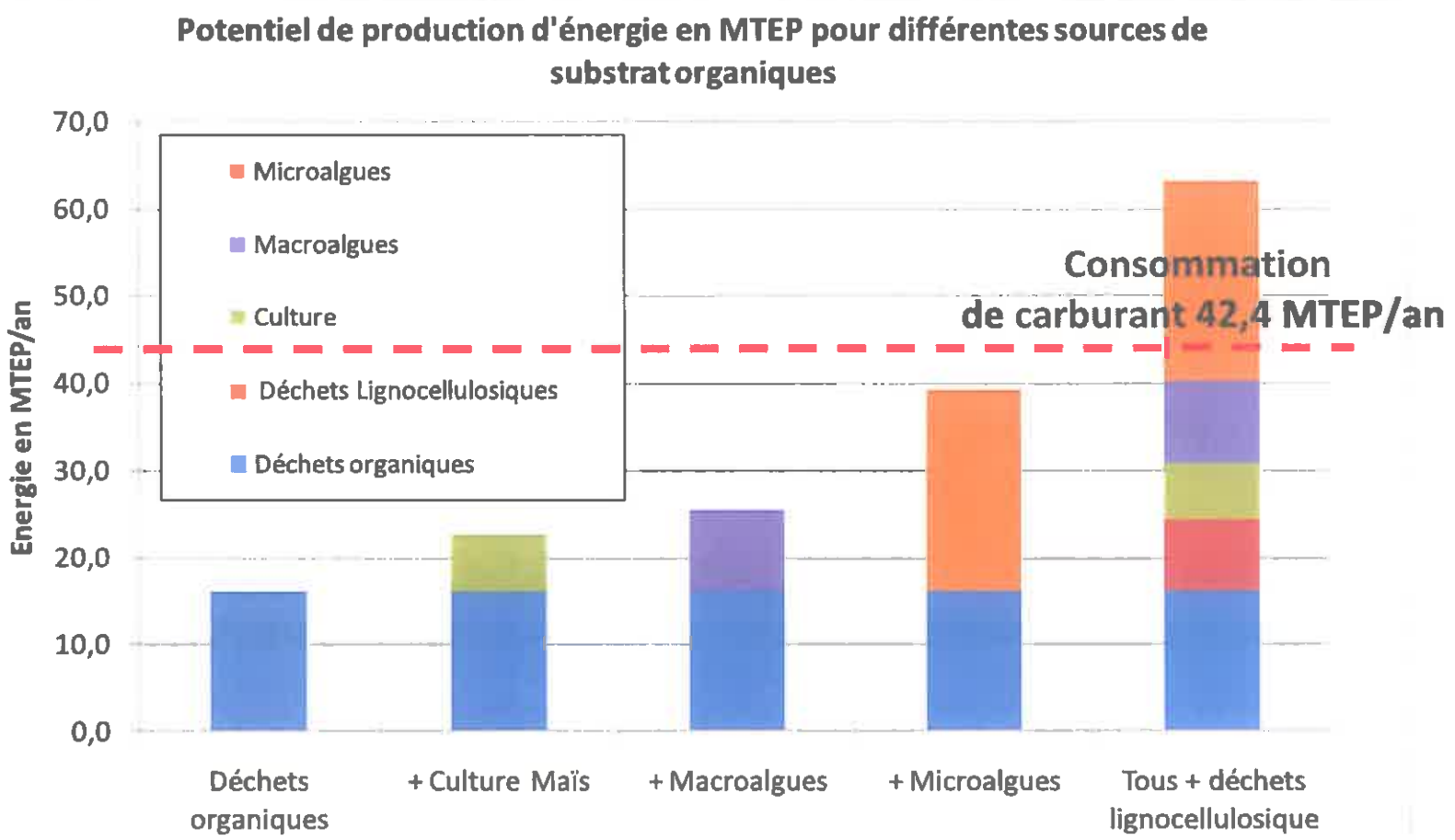
- 1,37 Mha dédié actuellement pour les biocarburants de première génération. Surface Agricole Utile (SAU) Française : 29 Mha (soit 5%)

- Maïs : 50 tMF/ha/an à 31% de MV soit 15,6 tMV/ha/an*
- Macroalgues : 23 tMV/ha/an (hypothèse moyenne du projet Winseafuel)
- Microalgues (système ouvert): 56tMV/ha/an

- Potentiel Méthane : 350 Nm^3 CH_4/tMV

*(*données allemandes de Biogaskontor)*

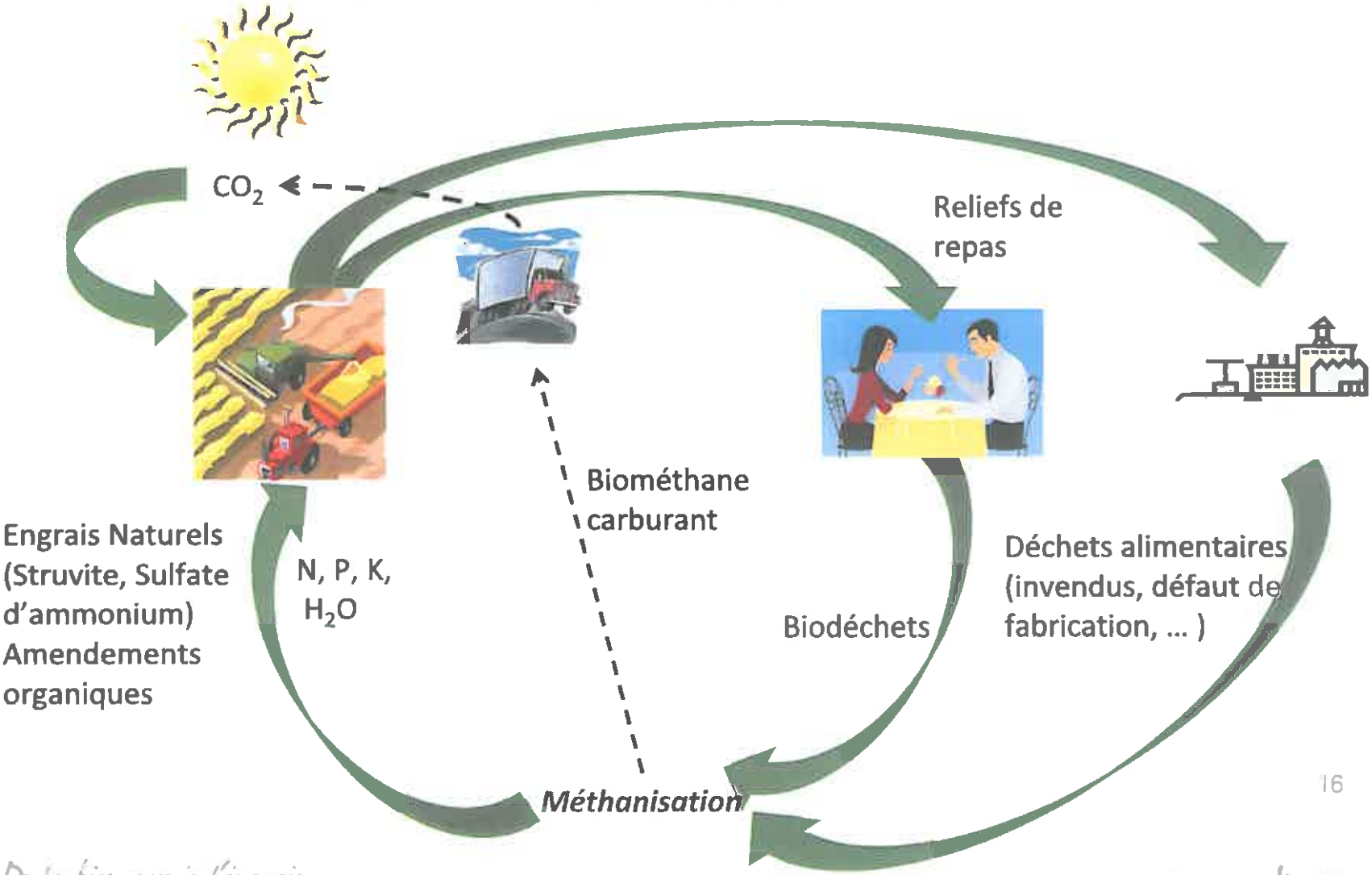
Potentiel de production d'énergie par méthanisation



Plan de la présentation

1. Présentation de Naskeo
2. Utilisation du biométhane-carburant
3. Projets de SEMABIO

Cycle vertueux de la méthanisation appliqué au projet SEMABIO



Localisation du méthaniseur



Types de déchets méthanisés dans le méthaniseur ErgeO

≈ 20 000 t/an

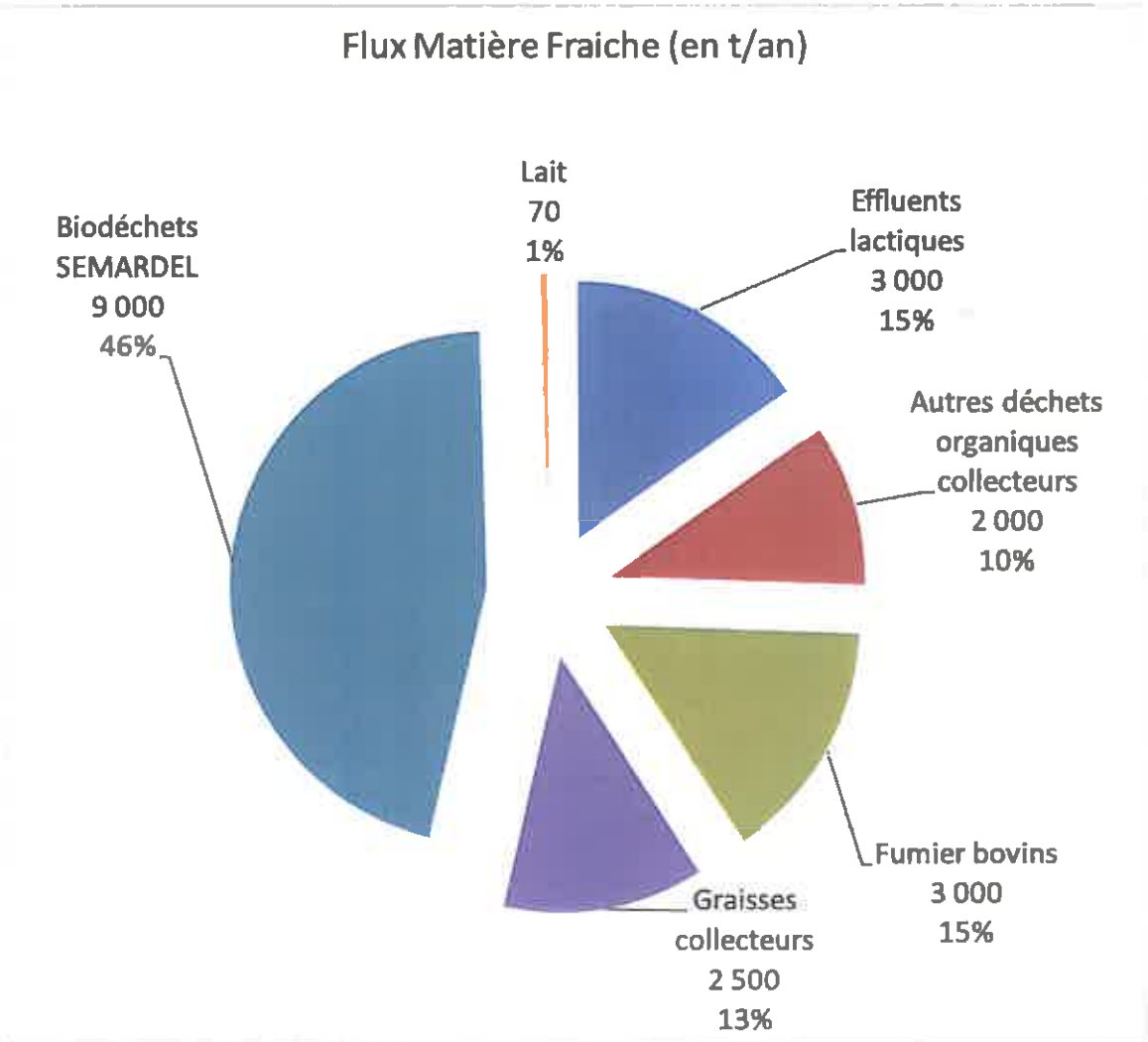
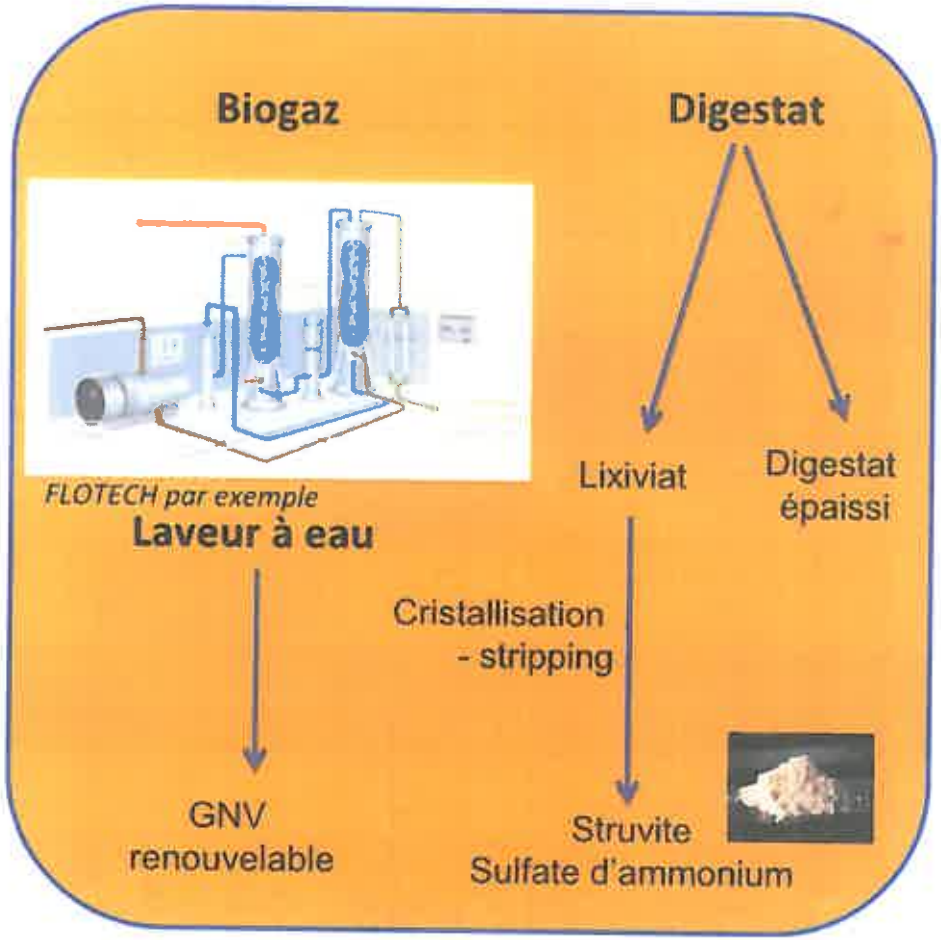
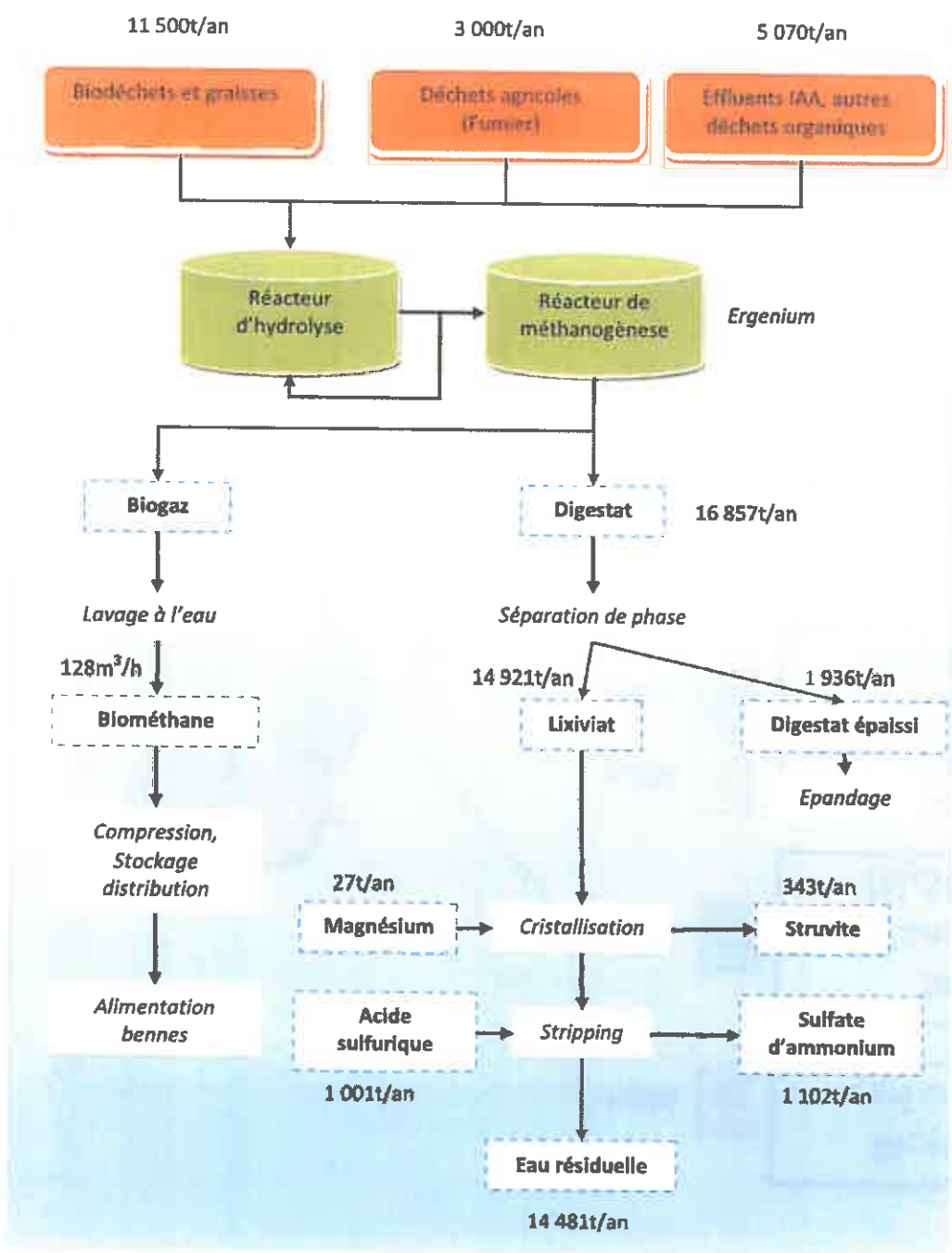


Schéma technique de la valorisation des produits en sortie de méthaniseur



Echéancier de réalisation de « SEMABIO »




11 500t/an
3 000t/an
5 070t/an
Biodéchets et graisses
Déchets agricoles (Fumier)
Effluents IAA, autres déchets organiques
Réacteur d'hydrolyse
Réacteur de méthanogènese
Ergenium
Biogaz
Digestat
16 857t/an
Lavage à l'eau
Séparation de phase
128m³/h
14 921t/an
1 936t/an
Biométhane
Lixiviat
Digestat épaissi
Epandage
Compression, Stockage distribution
27t/an
343t/an
Magnésium
Cristallisation
Struvite
Alimentation bennes
Acide sulfurique
Stripping
Sulfate d'ammonium
1 001t/an
1 102t/an
Eau résiduelle
14 481t/an

Naskeo environnement

Déchets organiques

C N P H_2O



Projet SEMABIO

Bilan de la valorisation de chaque élément des déchets organiques

80% C — **Biométhane -carburant (CH_4)**

63% N — **Sulfate d'ammonium (H_2SO_4, NH_4^+)**

64% P
14% N — **Cristal de Struvite ($MgNH_4PO_4^{2-}$)**

20% C
16% N
18% P
15% H_2O — Digestat Épaissi (retour au sol)

85% H_2O
7 % N
18% P — Eau (retour au sol)

Aperçu 3D méthaniseur similaire





28

Sylvain FREDERIC,
Directeur Recherche et Développement

Tél. : +33 (0)1 57 21 02 22
Port. : +33 (0)6 76 49 59 01
Fax : +33 (0)1 57 21 34 71
@ : sylvain.frederic@naskeo.com

SEMARDEL
CEL
ENVIRONNEMENT SERVICE

Naskeo
environnement

Gisement et potentiel méthane des déchets organiques

		Potentiel total
		Mtep biogaz
Déchets urbains	Solides	2,08
	Boues de STEP	0,21
	Total urbain	**2,29**
Déchets industriels	Solides	2,85
	Effluents	0,35
	Total industriel	**3,2**
Déchets agricoles		**10,7**
	TOTAL	**16,19**

Source : ADEME

DOCUMENT n° 6

111

Colloque
« Enfouissement zéro, utopie ou réalité ? »

Énergie utilisable par les technologies connues de traitement des matières résiduelles

Par:
Jacques Dubois, Seneca
Michel Laforest, Enviregaz
Charles Moreau, 3R Synergie
Gérard Gosselin, ABCG Technologies inc.

18 février 2010

Hôtel des Gouverneurs, Ste-Foy

Colloque
« Enfouissement zéro, utopie ou réalité ? »

Plan de la présentation

1- Introduction

2- Définitions

3- Base de comparaison

4- Énergie utile des sites d'enfouissements

5- Énergie utile de la biométhanisation des matières organiques

6- Énergie utile produite par gazéification

7- Énergie utile produite par combustion

1- Introduction

- Valorisation énergétique des déchets:
  - Utilisation très populaire en Europe et en Asie (Japon, Taiwan, Singapour)
- L'enfouissement avec captage de biogaz:
  - Très populaire au Canada, USA et dans les pays moins développés
- Évaluation comparative:
  - Biogaz des sites d'enfouissement
  - Biométhanisation des matières organiques
  - Gazéification
  - Combustion directe

Colloque
« Enfouissement zéro, utopie ou réalité ? »

2- Définition

Valorisation énergétique:

- Transformation des matières en énergie utilisable sous forme de gaz, vapeur, eau chaude.
- Utilisation de cette énergie pour le chauffage ou pour la production d'électricité.
- Remplacement d'autres énergies telles que le gaz naturel, le kérosène, l'huile lourde ou le charbon.

3- Base de comparaison

- Énergie utilisable seulement
- On tient compte de la perte d'efficacité du processus de production d'énergie utilisable
- Exemples:
  - Chaudière à vapeur: 75% de rendement
  - Électricité par:
    - Cycle Combiné: 45% de rendement
      (turbine à gaz-vapeur)
    - Moteur Diesel: 30% de rendement
    - Cycle de Rankine: 23% de rendement
      (Vapeur)

Colloque
« Enfouissement zéro, utopie ou réalité ? »

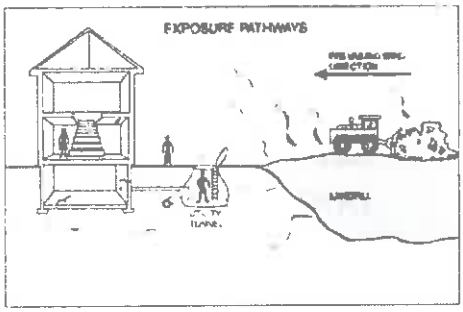
4- Énergie utile produite avec le biogaz des sites d'enfouissement

Risques à court terme

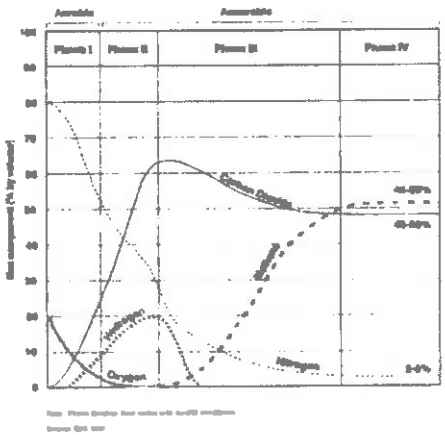
Asphyxie (déplacement de l'air)

Explosion (entre 5% et 15% de méthane dans l'air)

Incendie



Phases aérobies et anaérobie production

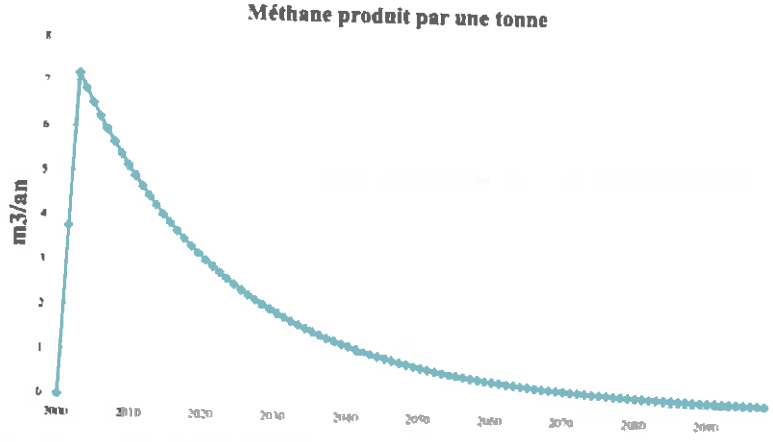


Vitesse de production du biogaz

Début de la production anaérobie
6 mois à 1 an après l'enfouissement

25 % est produit après	4 à 6 ans
50 % est produit après	8 à 15 ans
90 % est produit après	25 à 50 ans

Production de méthane



Captage du biogaz

Collecteurs horizontaux (temporaire)

Puits de captage



Efficacité de captage

75% à 95 % du biogaz peut être capté

Conception du réseau de puits
Étanchéité du couvert final
Entretien du réseau de collecteurs et des puits

seneca

Utilisation du biogaz

Sans traitement

- Brûlé en torchère
- Brûlé dans une chaudière

Gazmont
Puissance 23,3 MWe



seneca

Utilisation du biogaz

Traitement :
déshumidification et filtration

Moteur à combustion interne
-Turbine à gaz



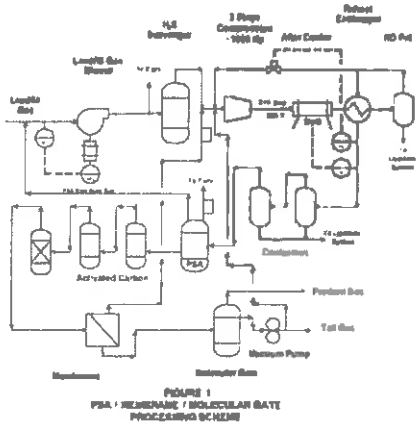
seneca

Utilisation du biogaz

Production de biométhane :

-Injection dans le pipeline

-Compression pour combustible automobile



seneca

Énergie électrique disponible

1 tonne de MR produit environ160 m^3 de CH_4

Dans 25 premières années,
on pourra capter 90 m^3 de méthane
et produire
240 kWh d'électricité



Production de biométhane avec une tonne de MR

En 25 ans, 90 m^3 de méthane capté

On produira :

80 m^3 de biométhane ≈ gaz naturel

91 litres d'essence équivalents

≈ 1000 km en voiture

RESEAU

Colloque
« Enfouissement zéro, utopie ou réalité ? »

4- Énergie utile produite avec le biogaz des sites d'enfouissement (suite)

- 75% d'efficacité de collecte du biogaz sur le site
- 55 à 60% de méthane
- 150 à 170 m3 de méthane générés sur 100 ans / T de matière résiduelle
- Énergie brute par tonne:
  - E brute max = 170 x 0.75 x 10.46 kwh / m3
  - E brute max = 1333 kwh / T
  - E brute min = 1078 kwh / T
- Considérons que les 25 premières années d'exploitation produisent 75% du biogaz total produit par un site d'enfouissement
- Énergie utilisable:
  - E max = 1000 kwh / T
  - E min = 808 kwh / T

Colloque
« Enfouissement zéro, utopie ou réalité ? »

4- Énergie utile produite avec le biogaz des sites d'enfouissement (suite)

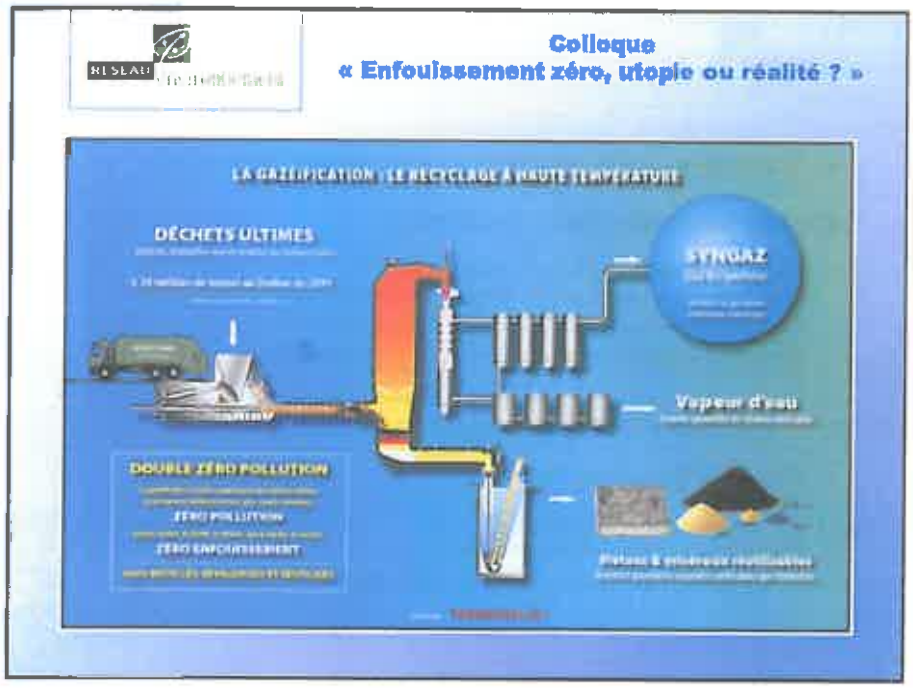
- Énergie nette produite
  - Chauffage dans une chaudière
    E nette = 0.75 x E = 606 à 750 kwh / T
  - Électricité dans un moteur Diesel
    E nette = 0.3 x E = 242 à 300 kwh / T
- Cette production est répartie sur 25 ans donc on aura une production instantanée de:
  - Vapeur = 606 à 750 kwh / T x 1 / 8800h x 25 ans
  - Vapeur = 2.8 à 3.4 watt / T
  - Électricité = 1.1 à 1.4 watt / T

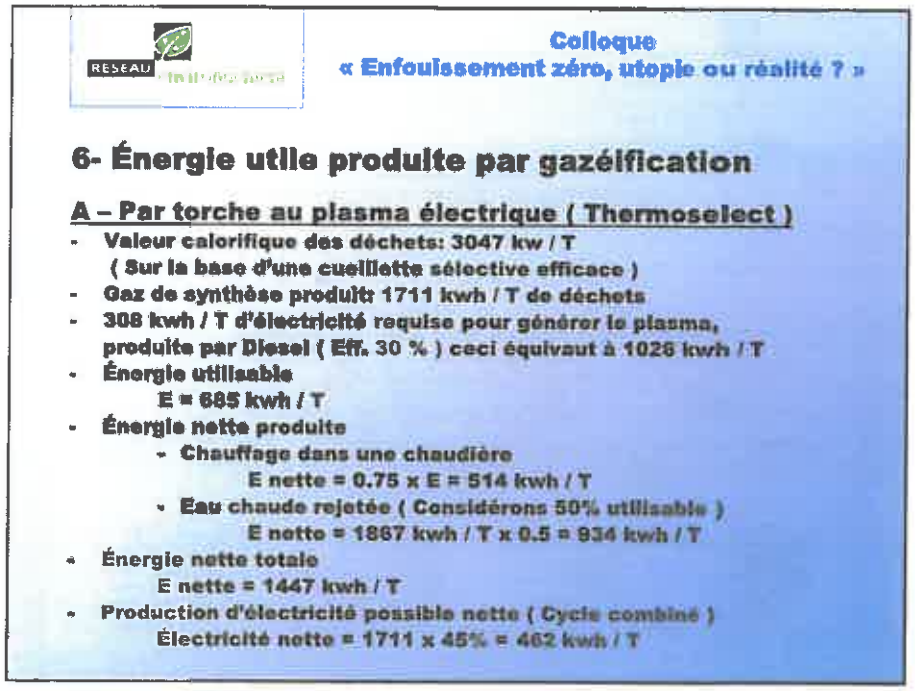
Colloque
« Enfouissement zéro, utopie ou réalité ? »

5- Énergie utile produite par biométhanisation des matières organiques

- 40 à 60% du poids des matières résiduelles est constitué de matières organiques (Après une cueillette sélective efficace)
- Il y a 60 à 70% d'humidité dans la matière organique / base humide
- Donc, 12 à 24% de la masse totale de matière résiduelle après une cueillette sélective efficace est organique
- 180 m3 de biogaz, soit 1234 kwh, est produit par tonne de matière organique humide
- Énergie utilisable
  E = 494 à 740 kwh / T totales de M.R.
- Énergie nette produite
  - Chaudière (Efficacité de 75%) = 277 à 555 kwh / T
  - Carburant automobile (Eff. de 30% *) = 130 à 260 kwh / T*

* Sans tenir compte du traitement des biogaz produits


RESEAU
Colloque
« Enfouissement zéro, utopie ou réalité ? »
LA GAZEIFICATION : LE RECYCLAGE À HAUTE TEMPÉRATURE
DÉCHETS ULTIMES
SYNGAZ
Vapeur d'eau
DOUBLE ZÉRO POLLUTION
ZÉRO POLLUTION
ZÉRO ENFOUISSEMENT


RESEAU
Colloque
« Enfouissement zéro, utopie ou réalité ? »
6- Énergie utile produite par gazéification
A – Par torche au plasma électrique (Thermoselect)
- Valeur calorifique des déchets: 3047 kw / T
(Sur la base d'une cueillette sélective efficace)
- Gaz de synthèse produit: 1711 kwh / T de déchets
- 308 kwh / T d'électricité requise pour générer le plasma, produite par Diesel (Eff. 30 %) ceci équivaut à 1026 kwh / T
- Énergie utilisable
E = 685 kwh / T
- Énergie nette produite
- Chauffage dans une chaudière
E nette = 0.75 x E = 514 kwh / T
- Eau chaude rejetée (Considérons 50% utilisable)
E nette = 1867 kwh / T x 0.5 = 934 kwh / T
- Énergie nette totale
E nette = 1447 kwh / T
- Production d'électricité possible nette (Cycle combiné)
Électricité nette = 1711 x 45% = 462 kwh / T

Colloque
« Enfouissement zéro, utopie ou réalité ? »

6- Énergie utile produite par gazéification

B – Dans un réacteur à lit fluidisé

- Val. calorifique des déchets: 3047 kw / T
  (Sur la base d'une cueillette sélective efficace)
- Énergie de préparation et séchage des M.R.: 15%
- Énergie de gazéification et épuration des gaz: 20%
- Énergie utilisable dans le gaz produit:
  E = 3047 x (1 - (0.15 + 0.2)) = 1980 kwh / T
- Utilisation dans une chaudière
  E nette = E x 0. 75 = 1485 kwh / T
- Production d'électricité (Diesel):
  Électricité nette = E x 0.3 = 594 kwh / T

Colloque
« Enfouissement zéro, utopie ou réalité ? »

QUÉBEC

INCINÉRATEUR ET STATION DE TRAITEMENT DES BOUES



RÉSEAU

Colloque
« Enfouissement zéro, utopie ou réalité ? »

7- Combustion directe

- Val. calorifique des déchets: 3047 kw / T
  (Sur la base d'une cueillette sélective efficace)
- Considérons une perte d'énergie de 5% pour le traitement des gaz
- Énergie utilisable:
  E = 3047 x (1 - 0.05) = 2895 kwh / T
- Utilisation du gaz dans une chaudière
  E nette = E x 0.75 = 2171 kwh / T
- Production d'électricité:
  Électricité nette = E x 0.23 = 666 kwh / T

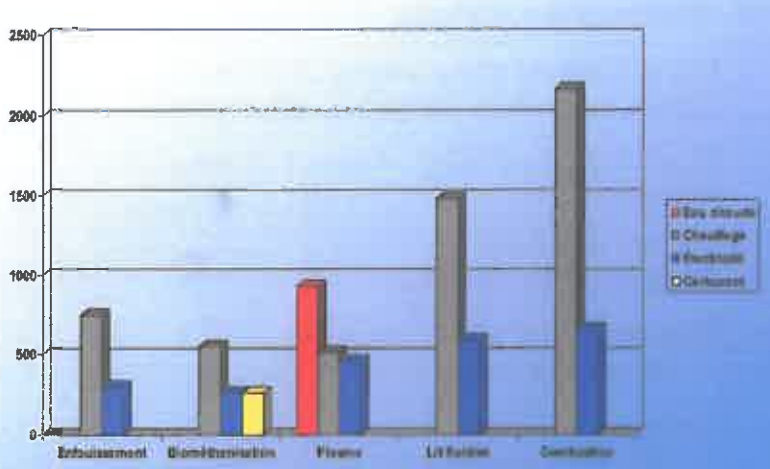
RÉSEAU

Colloque
« Enfouissement zéro, utopie ou réalité ? »

8- Comparaison sommaire (kwh / T)

	Énergie Nette	ou:	Électricité
1- Biogaz de site d'enfouissement:	606 à 750 (Chaudière)		242 à 300 (Diesel)
Production instantanée:	2.8 à 3.4 Watt / T		1.1 à 1.4 Watt / T
2- Biométhanisation:	277 à 555 (Chaudière) 130 à 260 (Carburant)		130 à 260 (Diesel)
3- Gazéification par plasma:	514 (Chaudière) 934 (Eau chaude)		462 (Cyc. combiné)
4- Gazéification par lit fluidisé:	1485 (Chaudière)		594 (Diesel)
5- Combustion directe:	2170 (Chaudière)		666 (Vapeur)

Colloque
« Enfouissement zéro, utopie ou réalité ? »



Colloque
« Enfouissement zéro, utopie ou réalité ? »

Questions ?

ÉPREUVE N° 10