

## **RAPPORT DE STAGE**

**Par : Zakary DIAKITE**

**Dans le cadre de la formation Master STVE AgroParisTech 1<sup>ère</sup> Année  
mention MMSES : Mathématiques et Modélisation- Sciences Economique  
et Sociales.**

**Stage effectué du 1<sup>er</sup> Avril 2014 au 31 Juillet 2014 (4 mois)**

**A: ARTAIM CONSEIL**  
99 route des vallées  
10400 MONTPOTHIER

**Sur le THEME :**

**BILAN CARBONE DU BIO METHANE ISSU DE CULTURES  
INTERMEDIAIRES A VALORISATION ENERGETIQUE SELON LE MODELE  
DE METHANISATION DEVELOPPE PAR ARTAIM CONSEIL**

**Responsable de formation :** Gabriel LANG (Enseignant Chercheur)

**Enseignant tuteur responsable de stage :** Stéphane DE CARA  
(Enseignant Chercheur)

**Maître de stage :** Carine MALLIER (Gérant de ARTAIM Conseil)

**Encadreurs de stage :** Lionel BOURSAUD (Gérant de ARTAIM Conseil)

Aurélie WILFART (Chercheur à l'INRA de Rennes)

## **REMERCIEMENTS**

Mes premiers remerciements sont à l'endroit de Carine MALLIER et Lionel BOURSAUD, co-gérants de la SARL ARTAIM CONSEIL qui m'ont permis de faire ce stage. Nos échanges m'ont été d'une aide précieuse dans la rédaction de ce rapport.

Je remercie particulièrement mes titulaires partant de Stéphane DE CARA à Aurélie WILFART sans oublier le responsable de ma formation Gabriel LANG. Ils ont été d'un soutien remarquable et m'ont surtout permis à réussir cette étude.

Un grand Merci à tous mes enseignants d'AgroParisTech de qui je tiens des compétences techniques et scientifiques qui m'ont beaucoup servies.

Je tiens remercier particulièrement la famille DIAKITE pour son soutien moral depuis la Côte d'Ivoire et surtout mon colocataire Christian ROBAIX dont la compagnie à MONTPOTHIER a été déterminante.

## RESUME

ARTAIM CONSEIL développe un modèle de méthanisation agricole qui a pour particularité l'utilisation des Cultures Intermédiaires à Valorisation Energétique (CIVE) pour la production de bio méthane. Dans les soucis de maîtriser les impacts environnementaux lors de la production de cette énergie. Nous avons circonscrit, dans un premier temps notre périmètre d'étude, ensuite identifier les différents intrants, les processus unitaires et les unités fonctionnels afin d'effectuer un bilan carbone. Cela a été fait en s'appuyant sur des données de l'ADEME, différents guides et rapports méthodologiques à savoir GES'TIM, AGRIBALYSE, IPCC 2001/2006, ARVALIS 2005, GIEC qui sont des documents élaborés dans le but d'aider à effectuer des ACV. Les modèles et méthodes de calcul utilisés tout le long de l'étude ont été tiré de ces documents. Des facteurs d'émissions indiqués ont été utilisés pour déterminer les émissions de GES liées à la production du bio méthane. Les trois grandes phases de la méthanisation agricole (phase agricole, phase de méthanisation et phase d'épuration et injection) donnent ainsi un bilan significatif en terme d'émissions. La quantité de carbone fixé lors de la photosynthèse par les cultures a également été déterminée à partir des méthodes proposées par Vertregt et Penning de Vrie (1987) et Nemecek et Kägi (2007) permettant, à partir des teneurs en glucides, lipides, protéines, fibres et matières minérales des végétaux, de déterminer la quantité de carbone fixée dans la biomasse des végétaux. Nous avons ainsi constaté que le carbone fixé par les CIVE évalué en  $\text{eq CO}_2$  est nettement supérieur à toutes les émissions de GES évalué également en  $\text{eq CO}_2$  dans le processus de production de bio méthane. Après comparaison de nos résultats à ceux de d'autres énergies notamment les GPL, il s'est avéré un fort intérêt écologique du bio méthane issu de CIVE. Cependant nous nous posons la question de savoir s'il est judicieux de prendre en compte le carbone fixé car il est généralement considéré comme carbone biogénique donc neutre en termes de changement climatique.

## SUMMARY

ARTAIM CONSEIL develops a model of agricultural biogas whose particularity use Intermediaries Cultures to Energy Recovery (CIVE) for the production of bio methane. In worries master environmental impacts during the production of this energy. We identified in our first study perimeter, then identify the various inputs, unit processes and functional units to perform a carbon footprint. This was done based on data from ADEME, different guides and methodological reports namely GES'TIM, AGRIBALYSE, IPCC 2001/2006, ARVALIS 2005, GIEC documents are developed to help perform stroke. Models and calculation methods used were derived from these documents. Emission factors listed were used to determine the GHG emissions related to the production of bio methane. The three major phases of agricultural biogas production (agricultural phase, phase of anaerobic digestion, purification and injection phase) and give a significant emission. The amount of carbon fixed during photosynthesis by the cultures was also determined from the methods proposed by Vertregt Vrie and Penning (1987) and Nemecek and Kaegi (2007) which, based on levels of carbohydrates, lipids, proteins, mineral fibers and plant materials to determine the amount of fixed carbon in the biomass of plants. We have found that the carbon fixed by the CIVE evaluated CO<sub>2</sub>e is clearly superior to all GHG emissions in CO<sub>2</sub>e also evaluated in the process of production of bio methane. After comparison of our results with those of other fuels including LPG, it proved a strong ecological interest of bio methane from CIVE. However we ask the question whether it is wise to take into account the carbon sequestered as it is generally considered biogenic carbon neutral so in terms of climate change.

## TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS .....	1
RESUME.....	2
SUMMARY .....	3
TABLE DES MATIERES .....	4
TABLE DES ILLUSTRATIONS .....	7
SCHEMAS .....	7
TABLEAUX.....	7
INTRODUCTION.....	8
A.    ORGANISME D’ACCUEIL : ARTAIM CONSEIL SARL .....	8
B.    CONTEXTE D’ETUDE .....	10
I.    ETAT DE L’ART .....	11
A.    LA METHANISATION AGRICOLE.....	11
1.    La bio- méthanisation.....	11
2.    Description du modèle de méthanisation développé.....	11
B.    LA METHODE DE L’ACV .....	14
1.    Définition.....	14
2.    Forces de l’ACV .....	14
3.    Difficultés d’utilisation de l’ACV .....	14
C.    BILAN CARBONE .....	15
II.    PROBLEMATIQUE .....	16
III.   MATERIEL ET METHODES .....	17
A.    DEFINITION DU PERIMETRE D’ETUDE .....	17
B.    METHODOLOGIE.....	17
1.    Représentation des différentes étapes de notre système avec les différentes opérations unitaires .....	18
2.    Les éléments caractérisant les différentes opérations unitaires .....	20
3.    Définition de l’unité fonctionnelle.....	20
4.    Inventaire des étapes impliquées dans les émissions de GES.....	20

C.	LES METHODES DE CALCUL .....	21
1.	Hypothèses et outils .....	21
a.	Hypothèse générale.....	21
b.	Outils.....	21
2.	Etape Agricole.....	21
a.	La fabrication des semences (Contribution des semences a l'effet de serre) 21	
b.	Paramétrage pour la filière végétale : carbone fixé par les plantes .....	22
c.	Emissions indirectes liées à la fabrication des équipements motorisés....	23
d.	Les émissions liées à l'utilisation des ressources énergétiques.....	25
e.	Les émissions liées à la fabrication des agroéquipements .....	26
f.	Emissions indirectes liées au transport des équipements motorisés.....	27
g.	Méthode de calcul des consommations d'énergie des activités agricoles	28
h.	Estimation des émissions de CH <sub>4</sub> .....	30
i.	Estimation des émissions de N <sub>2</sub> O liées à l'épandage du digestat.....	30
j.	Produits phytosanitaires.....	32
3.	Etape de méthanisation .....	33
a.	Les émissions liées à la construction des bâtiments .....	33
b.	Amortissement.....	36
c.	Fuites en méthanisation .....	36
4.	Etape d'épuration et d'injection.....	37
5.	Combustion du bio méthane .....	37
6.	Fonctionnement Electrique dans la méthanisation.....	38
7.	Sources des données.....	39
IV.	RESULTATS ET DISCUSSION.....	40
1.	Etape Agricole.....	40
a.	Estimations des émissions de CO <sub>2</sub> liées aux semences.....	42
b.	Estimations des émissions de CO <sub>2</sub> liées à l'évolution des plantes et estimation du CO <sub>2</sub> fixé par les plantes au cours de l'étape agricole .....	42
c.	Les émissions liées a l'utilisation des ressources énergétiques.....	42
d.	Estimation des émissions de N <sub>2</sub> O liées à l'épandage du digestat.....	43
e.	Produits phytosanitaires.....	43

2.	Etape de méthanisation .....	43
a.	Emissions de CO <sub>2</sub> liées au fonctionnement et aux équipements à la phase de méthanisation .....	43
b.	Les émissions liées à la construction des bâtiments .....	45
c.	CO <sub>2</sub> émis en phase d'épuration et d'injection.....	46
d.	Répartition des émissions issues des différentes phases.....	46
3.	Combustion du bio méthane .....	47
4.	Bilan global .....	47
5.	L'évaluation de l'utilité du bio méthane.....	47
V.	PERSPECTIVES .....	50
A.	Usages possible du CO <sub>2</sub> rélargué.....	50
B.	Allocation économique du poids carbone sur le bio méthane et le digestat 50	
C.	Prise en compte du carbone fixé .....	50
	CONCLUSION .....	51
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	52
	ANNEXES .....	53

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

### SCHEMAS

Schéma 1: SCHEMA FONCTIONNEL D'UNE INSTALLATION (LE MODELE ARTAIM EST SANS ELEVAGE NI CO-GENERATEUR) .....	13
Schéma 2 : REPRESENTATION DES DIFFERENTES ETAPES DE NOTRE SYSTEME AVEC LES DIFFERENTES OPERATIONS UNITAIRES .....	19

### TABLEAUX

Tableau 1: Emissions de GES et consommation d'énergie liée à la fabrication des semences.....	22
Tableau 2: Contenu en carbone des différentes fractions biochimiques (Vertregt et Penning de Vries , 1987).....	23
Tableau 3: Emissions de CO <sub>2</sub> -éq liées à la consommation des ressources énergétiques (GES'TIM page 55) .....	25
Tableau 4: Emission et consommation des énergies liées à la fabrication des agroéquipements.....	26
Tableau 5: Extrait du tableau présentant les consommations moyennes d'énergie pour le transport.....	27
Tableau 6: Méthode de calcul des consommations d'énergie des activités agricoles .	28
Tableau 7: Hypothèses de consommation de carburant pour les différentes opérations culturales.....	29
Tableau 8: Emission N <sub>2</sub> O à l'épandage .....	30
Tableau 9: Emissions de N <sub>2</sub> O liées à la dénitrification de l'azote dans le sol .....	31
Tableau 10: Emissions de CO <sub>2</sub> équivalent liées à la fabrication des matériaux .....	34
Tableau 11: Emissions de CO <sub>2</sub> -éq liées à la consommation d'électricité (GES'TIM page 55) .....	38
Tableau 12: Bilan carbone de la phase agricole .....	40

### FIGURES

Figure 1: Répartition des Emissions en éq CO <sub>2</sub> et de la fixation de CO <sub>2</sub> en phase agricole .....	40
Figure 2: Répartition des Emissions en éq CO <sub>2</sub> en phase agricole.....	41
Figure 3: Répartition des émissions de CO <sub>2</sub> liées aux équipements en phase agricole	42
Figure 4: Répartition des émissions de CO <sub>2</sub> liées au fonctionnement et aux équipements à la phase de méthanisation .....	44
Figure 5: Répartition des émissions liées à la construction (kg éq CO <sub>2</sub> ).....	45
Figure 6: Répartition des émissions issues des différentes phases (éq CO <sub>2</sub> ) .....	46

## **INTRODUCTION**

### **A. ORGANISME D'ACCUEIL : ARTAIM CONSEIL SARL**

#### **➤ PRESENTATION**

ARTAIM CONSEIL, entreprise située dans le département de l'Aube (région de Champagne-Ardenne) est un bureau d'étude et conseils, agronomiques, économiques et techniques, pour la mise en place d'unité de méthanisation agricole. Créée en mars 2012 son siège est à Montpothier ville de la région de l'Aube à la limite de l'île de France.

ARTAIM CONSEIL est une entreprise qui fait le lien entre des porteurs de projets investis dans la mise en place d'unité de méthanisation, des constructeurs de ces unités et plusieurs autres acteurs impliqués dans la production et la consommation de gaz naturel. Cependant ARTAIM CONSEIL est surtout axé sur les aspects agronomiques à savoir la production d'intrants.

Le bureau d'étude travaille ainsi avec plusieurs entreprises notamment des semenciers à savoir SYNGENTA, KWS, CAUSSADE SEMENCES, ADVANTA et LIMAGRAIN pour des essais et des multiplications de semences. ARTAIM CONSEIL est également en relation avec un négociant SOUFFLET, des coopératives (AGORA, ACCOLIANCE, VIVESCIA, VALFRANCE) et le GRCETA d'IDF (Groupement Régional de Centre d'Etude Technologiques et Agronomiques) l'un des principaux partenaires des ARTAIM qui s'intéresse surtout à la multiplication des intrants.

Les installations actuelles de ARTAIM CONSEIL sont mises en place par le constructeur allemand MT Energie, qui assure également la maintenance de ces installations. Il faut noter que MT Energie est le principal partenaire du bureau d'étude.

Pour finir ARTAIM CONSEIL est en étroite collaboration avec GrDF et les acheteurs de gaz tels que GDF Suez ou Direct Energie pour la distribution et la commercialisation du bio méthane produit.

Les activités de ARTAIM CONSEIL l'amènent également à solliciter METEO France pour des achats de données météo et à effectuer des tests de pouvoir méthanogène avec INNOLAB laboratoire Belge à Troyes.

## ➤ MISSIONS

ARTAIM CONSEIL se donne pour principales missions un accompagnement global qui part de l'idée à la mise en service du méthaniseur à travers plusieurs étapes qui se répartissent sur deux années. En effet, la première année débute par des démarches initiales qui consistent à la validation des conditions de démarrage des projets par le biais des structures telles que GrDF / GRTgaz. Ensuite, se fait une définition technique du projet qui aura pour axe de déterminer les moyens de productions des CIVE et du type de méthaniseur puis de la gestion du digestat. Cela passe non seulement par un recours au démarchage des constructeurs afin de comparer leurs offres techniques et des montants d'investissement mais aussi par une étude de faisabilité économique et financière pour la prévision de résultats courant, d'EBE et de TRI (Taux de Rentabilité Interne). Après tout ceci ARTAIM CONSEIL entame des démarches administratives et réglementaires notamment les cahiers de charges ICPE et la demande de rendez-vous à la DDT pour le permis de construire et la recherche de subventions.

La seconde année quant à elle est marquée par l'établissement du cahier des charges avec le constructeur retenu, la mise en place des contrats de raccordement et d'injection, l'accompagnement pour le financement du projet et la recherche de gisement exogène.

La force de ce petit groupe est non seulement sa réactivité et sa proximité mais aussi sa réflexion commune qui conduit à l'achat groupé des méthaniseurs, à des négociations communes pour le génie civil et les acheteurs de gaz. Cela a conduit aujourd'hui à douze projets sur le territoire français.

## **B. CONTEXTE D'ETUDE**

Actuellement en Europe les impacts de la production et consommation des énergies sont de plus en plus considérés. La méthanisation agricole commence son développement en France. La France ne veut pas du modèle allemand, mais identifie bien l'intérêt des productions agricoles pour la méthanisation, parallèlement aux déchets organiques. Les CIVE – Cultures Intermédiaires à Valorisation Energétique – sont pleines de promesses.

ARTAIM CONSEIL a développé un modèle de méthanisation agricole adapté aux régions de grandes cultures, reproductible et rentable. Les deux premières unités sont mises en service depuis Juillet 2014. Six autres vont suivre dans les années 2015 et 2016. Ces 8 premières unités sont des pionnières. ARTAIM CONSEIL a maintenant besoin d'assoir le modèle pour lui offrir la possibilité de se développer.

Dans les soucis de maîtriser les impacts occasionnés par l'utilisation des énergies fossiles de nos jours, l'accent est mis sur la production d'énergie de substitution, particulièrement l'énergie verte, en général moins polluante. Cela a favorisé le développement de la méthanisation en Europe. La méthanisation est historiquement basée sur les déchets organiques en France. Par ailleurs, l'évolution des pratiques agricoles notamment l'agriculture de conservation, permet de produire des inters-cultures qui peuvent présenter un grand intérêt pour la méthanisation. On assiste ainsi à l'utilisation de ces cultures appelé CIVE dans la production d'énergie. Cette valorisation des couverts d'inters-cultures par la méthanisation ajoutée à leur fonction de protection des sols et production de digestat utilisé comme fertilisant s'avère intéressante. Dans ce contexte, les acteurs de la production de bio méthane par la méthanisation agricole s'attachent à mesurer ses impacts de manière complète et précise, et à identifier les perspectives d'amélioration voir de perfection des modèles de méthanisation mise en place .

## I. ETAT DE L'ART

### A. LA METHANISATION AGRICOLE

#### 1. La bio- méthanisation

##### Définition

*La bio méthanisation consiste en la dégradation de la matière organique en l'absence d'oxygène (digestion anaérobie) et à l'abri de la lumière par l'action combinée de plusieurs communautés de microorganismes. C'est une technique qui conduit à la production d'un mélange gazeux appelé biogaz (dont le gaz principal est le méthane CH<sub>4</sub>) pouvant être utilisé de nos jours comme combustible, et le digestat utilisé comme amendement agricole après généralement stabilisation par compostage (Cependant il n'y a pas de compostage dans le modèle développé par ARTAIM CONSEIL). Les transformations en méthanisation impliquent les actions successives de quatre populations microbiennes.*

- *Une microflore hydrolytique aérobie anaérobie facultative ou stricte qui transforme les polymères en monomères (glucides, acides gras, acides animés),*
- *Une microflore fermentaire acidogène anaérobie facultative ou stricte qui produit les acides gras volatils et organiques*

##### Les différentes étapes de la méthanisation sont :

- L'hydrolyse
- L'acidogénèse
- La méthanogénèse

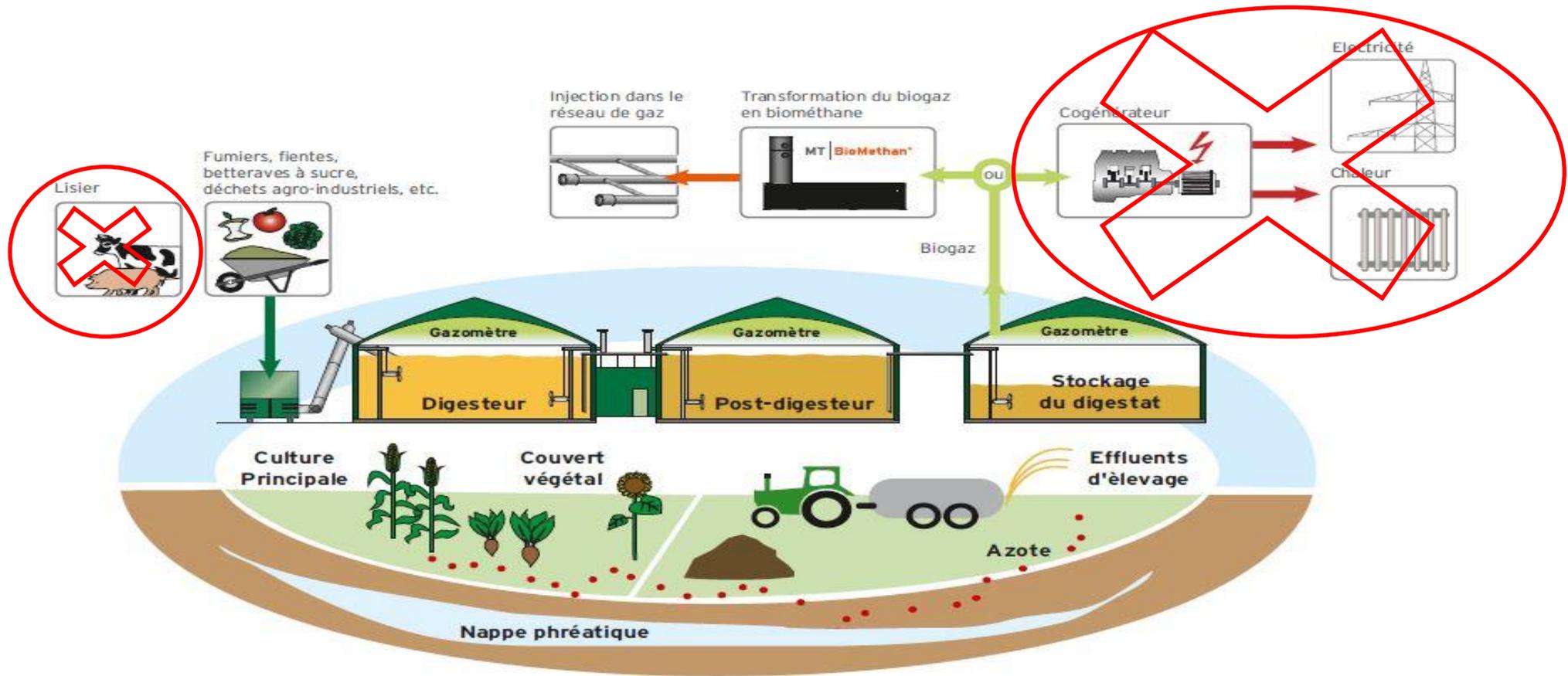
#### 2. Description du modèle de méthanisation développé

C'est un procédé biologique naturel permettant de valoriser des matières organiques. Pendant 40 à 60 jours ces matières sont placées à l'intérieur d'une cuve, le digesteur, qui est chauffée et brassée en l'absence d'oxygène. Elle produit une énergie renouvelable, le biogaz qui est ensuite épuré pour donner le bio méthane. On obtient en plus de cela un fertilisant, le digestat.

Les intrants utilisés pour l'alimentation du digesteur principalement la biomasse est estimée à 30 T/jour soit 10 800 T/an. Ces intrants sont composés de cultures dédiées et CIVE (Cultures Intermédiaires à Valorisation Energétique). On utilise aussi les pulpes de betteraves ou déchets d'Industries Agro-Alimentaires et des déchets verts.

L'effluent obtenu constitue, « le digestat », qu'on utilise pour remplacer les engrais de synthèse et le bio méthane produit est directement injecté dans le réseau GrDF après épuration.

# Schéma fonctionnel d'une installation



**Schéma 1:** SCHEMA FONCTIONNEL D'UNE INSTALLATION (LE MODELE ARTAIM EST SANS ELEVAGE NI CO-GENERATEUR)

**Source :** site officiel de MT Energie

## **B. LA METHODE DE L'ACV**

### **1. Définition**

L'ACV est une méthode permettant d'estimer les émissions sur tout le cycle de vie d'un produit, depuis la production jusqu'à la consommation. C'est une méthode réglementé par les normes de la série 14040. Elle est efficace pour estimation des bilans d'énergie et de carbone émis dans l'atmosphère. L'analyse de cycle de vie est un outil privilégié et méthodologique qui permet de quantifier les impacts environnementaux potentiels associés à l'ensemble du cycle de vie d'un produit. L'analyse de cycle de vie (ACV) est aujourd'hui une des méthodes de calcul des impacts les plus utilisés et reconnues. Elle se détache d'autres méthodes par les deux aspects à savoir l'approche cycle de vie et l'approche multicritère.

L'ACV comprend quatre grandes phases à savoir :

- La définition des objectifs et du temps d'étude
- L'inventaire des flux le long du cycle de vie (ICV)
- L'évaluation des impacts environnementaux
- Potentiel Les interprétations

### **2. Forces de l'ACV**

L'ACV est l'outil que nous trouvons le mieux adapté pour notre étude Outil reconnu et fiable (C'est un outil scientifique d'aide à la décision encadré par la série ISO 14040). L'ACV est une méthode normalisée et construite.

### **3. Difficultés d'utilisation de l'ACV**

L'ACV repose sur des processus biologiques naturels géographiquement dispersés , variables dans le temps et dépendant des conditions climatiques c'est donc une méthode complexe exigent une certaine maîtrise et beaucoup de temps .

Ainsi pour effectuer notre Analyse dans le temps imparti nous avons jugé judicieux de nous limiter à un bilan Carbone "une AVC limitées aux gaz à effet de serre. D'où le non utilisation de l'ACV complète au profit d'un bilan carbone pour l'étude.

## C. BILAN CARBONE

### Principe de Bilan carbone

*"La méthode « Bilan carbone » a pour objectif de permettre à toute activité industrielle ou tertiaire d'estimer les émissions de gaz à effet de serre ( GES ) qui résultent des processus physiques nécessaires à son existence, où que ces processus aient lieu . La méthode repose sur l'utilisation de Facteurs d'Emission pour permettre de convertir des données d'activités en émissions estimées de GES. La finalité de cette méthode n'est pas d'aboutir à une quantification précise mais de permettre l'identification en ordre de grandeur des postes les plus impactant pour ne faciliter la mise en place d'une démarche de progrès . En effet, la méthode « se veut avant tout un tremplin vers des réduction des émissions de gaz à effet de serre »".*

La question de l'applicabilité de la méthode Bilan carbone à une activité de production de bio méthane revient donc à s'assurer que l'activité en question offre tous les éléments de calcul et d'interprétation pour réussir le bilan carbone et estimer correctement les émissions de gaz à effet de serre ( GES ) .

*Les exigences aux données et à la qualité des données :*

- *La représentativité temporelle (les données étudiées doivent s'étendre sur plusieurs années pour éviter les biais)*
- *La représentativité spatiale et technique*
- *Qualité des données individuelles et qualité globale des inventaires*
- *Qualité des données individuelles renseignée*

**Source :** Guide méthodologique- version 5.0 (page 105)

## II. PROBLEMATIQUE

Face aux problèmes de pollutions et de réchauffement climatique, ARTAIM CONSEIL lancé dans le développement de sites de méthanisation se doit de s'assurer de l'intérêt du modèle qu'il développe.

En effet ARTAIM CONSEIL développe un modèle de méthanisation basé sur la production des intrants par l'agriculture. Les Cultures Intermédiaires à Valorisation Energétique (CIVE) sont l'intrant très majoritaire de son modèle.

Les cultures, par le processus de photosynthèse, captent du CO<sub>2</sub>, qui devient des glucides, lipides, protéines, qui sont ensuite transformés en biogaz par la méthanisation. Cependant la production de ces cultures ensuite leur transformation en biogaz puis en bio méthane est source d'émission de GES.

ARTAIM CONSEIL a souhaité établir le bilan GES de son modèle de méthanisation, afin d'en connaître les points forts et les points faibles, selon une méthode connue et reconnue à savoir le Bilan carbone.

Il s'agira ainsi de déterminer le bilan carbone, prouver le caractère économique de la production de biogaz en terme d'énergie mais surtout la capacité de des activités de ARTAIM CONSEIL à minimiser les émissions des GES voir participer à la dépollution de l'environnement. Pour cela il conviendra de faire le bilan carbone d'une unité de méthanisation d'une capacité de production de 10 GWh PCS alimenté par des cultures CIVE. Ce bilan permettra d'avoir une idée des émissions de GES qui permettra de prendre les dispositions nécessaires pour minimiser les impacts.

### **III. MATERIEL ET METHODES**

#### **A. DEFINITION DU PERIMETRE D'ETUDE**

Notre périmètre d'étude comprend 3 grandes parties à savoir : L'étape agricole dont le système est la parcelle et les cultures. A ce système nous associons l'utilisation des différents intrants (Les semences, les engrais, les produits phytosanitaires et équipements motorisés, énergies et matériaux de construction) qui permettent la mise en place et le fonctionnement du système.

On prendra en compte dans notre approche et présentation des aspects suivants :

- Les mécanismes responsables des émissions de GES. les sources et facteurs de variation. Les hypothèses retenues pour le calcul des facteurs d'émission
- Les facteurs d'émission et les méthodes d'estimation de ces émissions
- Les données techniques nécessaires à l'application de ces méthodes d'estimation des émissions.

#### **B. METHODOLOGIE**

La culture considérée dans notre étude est celle du maïs ensilage qui est une culture à valorisation énergétique fortement méthanogène d'après les analyses du Laboratoire INOLAB (Voir ANNEXE 1) Pour être efficace il faudrait modéliser les fonctionnements du méthaniseur sur une période donnée (période bien définie). Cela implique des cultures sur une période pouvant être différente du temps de fonctionnement du méthaniseur. Cependant nous avons retenu comme période d'étude une année (365 jours). Le temps de culture sera ainsi fonction de la capacité de produire une quantité de biomasse nécessaire au fonctionnement (30 tonnes / jr) vu les conditions climatiques. Pour circonscrire le sujet on prendra en compte les différentes étapes de production suivantes :

- L'étape agricole : le système est la parcelle ; les intrants sont (les semences, le diésel pour la culture et pour le transport de la récolte, les produits phytosanitaires, le digestat, les herbicides).
- Etape de méthanisation
- Etape d'épuration et injection
- La combustion du bio méthane

Les grandes étapes du modèle comportent des opérations unitaires à identifier afin qu'aucune étape du procédé ne nous échappe .On ajoutera à cela la construction du méthaniseur et on estimera le bilan carbone de cette construction sur la durée de vie du méthaniseur ( 15années ) afin d'avoir un bilan globale prenant en compte et le fonctionnement du méthaniseur et la construction de ce dernier. La fabrication des équipements et leur transport sera également pris en compte dans notre étude car les

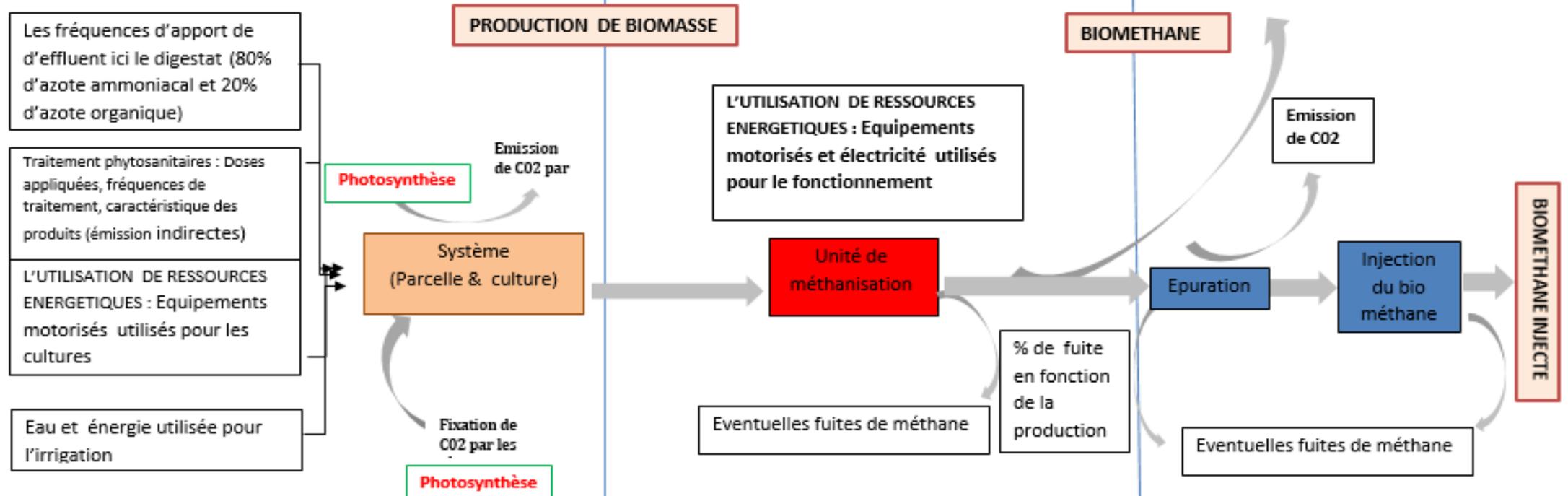
émissions issues de ces étapes considérées comme les émissions indirectes sont nécessaires pour un bon Bilan carbone.

- 1. Représentation des différentes étapes de notre système avec les différentes opérations unitaires**

PHASE AGRICOLE

PHASE METHANISATION

PHASE D'EPURATION ET INJECTION



- Arrosage, préparation du sol (utilisation de matière " eau ", énergie pour les machines et émission de CO<sub>2</sub>)
- les semences et engrais minéraux et organiques
- Consommation du diésel pour la culture et pour le transport (consommation d'énergie et émission CO<sub>2</sub>)
- Photosynthèse de la culture (fixation et émission de CO<sub>2</sub>)
- Energie pour la séparation de phases du digestat
- Pour restreindre notre périmètre d'étude La plupart des émissions indirectes ne seront pas prises en compte.
- Matériel de construction et fonctionnement (nécessite de l'énergie et des matériaux qui contribuent d'une façon ou d'une autre à la production de GES)
- Carburant (alimentation du méthaniseur)
- Chaleur et électricité pour le fonctionnement du méthaniseur
- Tri broyage de la biomasse
- Consommation d'énergie électrique, thermique pour épuration et injection du gaz
- Restitution du CO<sub>2</sub>

Schéma 2 : REPRESENTATION DES DIFFERENTES ETAPES DE NOTRE SYSTEME AVEC LES DIFFERENTES OPERATIONS UNITAIRES

## **2. Les éléments caractérisant les différentes opérations unitaires**

- Le flux de matière entrant
- l'énergie utilisée au cours de l'étape
- Un rendement de transformation ou de perte
- Un flux de matières sortant
- Des émissions polluantes associées aux consommations énergétiques
- Des émissions de polluants associées aux éventuels produits lors de la transformation

## **3. Définition de l'unité fonctionnelle**

Les résultats d'émission des gaz à effet de serre sont estimés en utilisant des unités appelées unités fonctionnelles notées UF. Ces unités doivent permettre de rendre compte des multiples fonctions et finalités des systèmes agricoles étudiés suivant l'approche et le périmètre considéré. L'unité fonctionnelle est généralement la quantité de produit exprimé souvent : En poids (kg de produit brut ou kg de matière sèche ou ha à choisir dans chaque cas : nous préciserons au fur et à mesure l'unité qui sera utilisée. Les gaz seront exprimés en (kg de gaz /ha) à l'étape agricole et on déterminera ensuite la quantité totale de gaz émis sur tous le système. Les énergies non renouvelables seront exprimées en MJ d'énergie primaire.

Une unité fonctionnelle étant la grandeur permettant de quantifier la fonction du système et ses caractéristiques de performance. On obtient ainsi une référence permettant de normaliser les intrants et les sortants (au sens mathématique).

## **4. Inventaire des étapes impliquées dans les émissions de GES**

- La production de semences
- La production de produits phyto
- Le travail du sol effectué avec les équipements motorisés
- L'épandage du digestat
- Fonctionnement du méthaniser (équipements d'approvisionnement)
- Fuites à l'étape de méthanisation
- Construction du méthaniseur
- Emission de gaz à l'épuration
- Fuites à l'épuration
- Combustion du gaz produit (bio méthane)

## **C. LES METHODES DE CALCUL**

### **1. Hypothèses et outils**

#### **a. Hypothèse générale**

Tout est fait sur une période d'une année qui est la période nécessaire à la production d'une quantité 1 007 805,51 N m<sup>3</sup> de bio méthane à partir d'une surface de production qui dépendra des conditions climatiques. Le rendement varie de 20 à 30 tonnes ou plus par hectare. Pour l'obtention de la quantité de bio méthane en question on apporte une quantité 30 tonnes de biomasse chaque jour dans le digesteur. La culture considérée durant toute l'étude est la culture de maïs ensilage qui se cultive sur 100 jours à partir du 10 juillet. Les résultats d'analyse de la composition de la biomasse issue du maïs ensilage sont représentés dans l'ANNEXE 1. De même des résultats d'analyse du digestat sont représentés dans les ANNEXES 6, 7 et 8.

#### **b. Outils**

Les documents suivants ; GES'TIM, AGRIBALYSE, IPCC 2001/2006, ARVALIS 2005, GIEC nous ont permis de trouver les facteurs d'émissions, les modèles et les méthodes de calcul respectant notre contexte d'étude. A partir de ces différents facteurs et nos données d'entrée (représentés pour la plupart dans les ANNEXES) nous avons effectué des calculs sur Microsoft Excel.

### **2. Etape Agricole**

Les activités agricoles servent à la production de CIVE afin d'alimenter le méthaniseur. Ces activités sont responsables de deux types d'émissions de gaz à effet de serre. A savoir :

- Les émissions directes
- Les émissions indirectes

#### **a. La fabrication des semences (Contribution des semences a l'effet de serre)**

Les étapes suivantes pour la production de semences sont responsables d'émissions de GES : la multiplication au champ, le stockage et la conservation des semences au sortie de champ, la consommation d'énergie pour les opérations de triage enfin le nettoyage et le calibrage sans oublier le conditionnement à l'usine et les différentes étapes de stockage. Les émissions des GES et la consommation d'énergie liée à la fabrication des semences sont représentés dans le tableau ci-dessous pour notre cas : le maïs.

**Tableau 1:** Emissions de GES et consommation d'énergie liée à la fabrication des semences

Gaz	Culture	Calcul émissions (kg éq. CO <sub>2</sub> / ha)	Facteur d'émissions indirect FE(i) (kg éq. CO <sub>2</sub> / ha)	Impact sur la consommation d'énergie primaire (MJ d'énergie primaire /kg)	Données exploitation	Données filière
	Maïs	Densité de semis ou de plantation *FE(i)	0,898	12,3	Densité de semis ou de plantation (kg/ha)	Densité moyenne de semis ou de plantation (kg/ha)

**Source :** GES'TIM (Gac et al, 2010), page 67

Les émissions de CO<sub>2</sub> exprimées en (kg éq. CO<sub>2</sub> / ha) sont déterminées en multipliant la densité de semis exprimée en (kg/ha) de la culture par le facteur d'émissions approprié qui est un facteur d'émissions indirect (FE(i) =0,898) tiré de GES'TIM (Gac et al, 2010).

$$E = d \times FE(i)$$

Avec :

**E :** émissions de CO<sub>2</sub> exprimées en (kg éq. CO<sub>2</sub>/ ha)

**d :** densité de semis ou de plantation (kg/ha)

**FE (i):** Facteur d'émissions indirect FE (i) (kg éq. CO<sub>2</sub>/ ha)

(Facteur d'émissions liées à la fabrication des semences)

### **b. Paramétrage pour la filière végétale : carbone fixé par les plantes**

Les plantes synthétisent de la matière organique à partir du CO<sub>2</sub> de l'atmosphère par la photosynthèse avec l'énergie solaire. Du carbone est ainsi stocké sous forme organique. Le modèle retenu pour cela dans AGRIBALYSE est celui de Ecoinvent V2 (Nemecek et Kâgi, 2007). Il y est indiqué que les méthodes proposées par Vertregt et Penning de Vrie ( 1987) et Nemecek et Kâgi ( 2007) permettent , à partir des teneurs en glucides, lipides , protéines, fibres et matières minérales des végétaux , de déterminer la quantité de carbone fixé dans la biomasse des végétaux. Ces dernières proviennent des tables INRA ( 1988, 1989, 2007), Sauvant et al ( 2004 et des tables de compositions

nutritionnelles publiées par l'ANSES 2008). Les différentes composantes de la biomasse végétale sont multipliées par les facteurs de contenu en carbone présentés dans le tableau ci-dessous. Ce carbone est normalement considéré comme neutre en termes de changement climatique.

**Source :** AGRIBALYSE : Rapport méthodologique

**Tableau 2:** Contenu en carbone des différentes fractions biochimiques (Vertregt et Penning de Vries , 1987).

Fraction biochimique	Contenu en C (g /kg de MS)
Glucides	0,444=X
Protéines	0,535=Y
Lipides	0,774=Z

**Source :** AGRIBALYSE : Rapport méthodologique, Page 171

A ce niveau, la quantité de carbone (kg de C) fixée est déterminée en multipliant les teneurs en glucide, protéine et lipide de la quantité de matière sèche prise dans la biomasse totale disponible par leur facteur d'émission respectifs.

$$C = (G \times X) + (P \times Y) + (L \times Z)$$

Avec :

**G** : quantité de glucide contenue dans la matière sèche prise dans la biomasse totale (g)

**P** : quantité de Protéine contenue dans la matière sèche prise dans la biomasse totale (g)

**L** : quantité de Lipide contenue dans la matière sèche prise dans la biomasse totale (g)

**C** : quantité de C capté en (g)

La quantité de C (kg) obtenues est convertie en de CO<sub>2</sub> (kg) en multipliant la quantité de C par le facteur de conversion de C en CO<sub>2</sub> qui est (44/12).

Les estimations sont faites sur une production de 1 ha. On obtiendra la quantité totale en multipliant la quantité obtenue par le nombre total d'hectare.

### c. Emissions indirectes liées à la fabrication des équipements motorisés

Toutes les méthodes d'amortissement utilisées sont linéaires et s'étalent sur la durée de vie de l'équipement. Le tracteur par exemple a une durée de vie de 8000 heures. Les émissions liées à la fabrication d'un équipement motorisé comme le tracteur sont estimés en fonction de leur facteur d'émission. Ce facteur est destiné à déterminer les émissions indirectes liées à la fabrication. Ces émissions sont amorties sur la durée de vie du tracteur en question (8000 heures) afin de déterminer les émissions indirectes à

l'heure liée à la fabrication du tracteur. L'on multipliera les émissions à l'heure par le nombre d'heure de travail du tracteur pour déterminer les émissions indirectes totales liées au travail fourni par le tracteur. S'il se trouve que le tracteur est combiné à une rampe d'épandage par exemple on fait le même calcul pour la rampe. On estime ensuite les émissions de la rampe en fonction du nombre d'heure d'utilisation de la rampe, dans ce cas les émissions du tracteur sont aussi estimées sur le nombre d'heure d'utilisation du tracteur avec la rampe (nombre d'heure d'utilisation de l'équipement tracteur + rampe). Pour finir on additionne les deux valeurs afin de déterminer la valeur des émissions indirectes totales liées à la fabrication de l'équipement (rampe+ tracteur). Le même calcul est fait pour tous les autres équipements combinés qui participent à la phase agricole. Les émissions liées à la fabrication d'un équipement motorisé comme le tracteur est calculé comme suite :

$$E = \left[ \left( \frac{P \times FE(i)1}{D} \right) + \left( \frac{Pc \times FE(i)2}{Dc} \right) \right] \times h$$

Avec:

**P**= poids de l'équipement principal (Kg)

**Pc**= poids de l'équipement secondaire (Kg)

**D**= durée de vie de l'équipement principal (heures)

**Dc**= durée de vie de l'équipement secondaire (heures)

**FE (i) 1**= facteur d'émissions liées à la fabrication de l'équipement principal (kg éq CO<sub>2</sub>/ kg)

**FE (i) 2**= facteur d'émissions liées à la fabrication de l'équipement secondaire (kg éq CO<sub>2</sub>/ kg)

**E**= émissions indirectes liées à l'équipement composé (Kg CO<sub>2</sub>)

**E1**= émissions liées à la fabrication de l'équipement principal (Kg CO<sub>2</sub>)

**E2**= émissions liées à la fabrication de l'équipement secondaire (Kg CO<sub>2</sub>)

**h1=h2 = h** = nombre d'heure de travail de l'équipement assemblé (heures)

Lorsque c'est un seul équipement qui travaille (par exemple le tracteur) la formule devient

$$E = \left( \frac{P \times FE(i)1}{D} \right) \times h$$

Les facteurs d'émission ci-dessus sont fournis par l'ADEME (ADEME. 2005). Les facteurs d'émissions indirectes sont issus d'Ecoinvent (V2.0. 2008). Ces données sont utiles pour évaluer de façon homogène le calcul de l'impact des activités agricoles sur l'effet de serre et sur l'épuisement des ressources fossiles.

#### d. Les émissions liées à l'utilisation des ressources énergétiques

La consommation des énergies fossiles conduit à deux types d'émissions :

- + Les émissions indirectes
- + Les émissions directes

**Tableau 3:** Emissions de CO<sub>2</sub>-éq liées à la consommation des ressources énergétiques (GES'TIM page 55)

Gaz	Ressources énergétiques	Unité	Calcul des émissions en Kg de gaz / unité de ressource énergétique	Facteur d'émission directes (FE(d)) (kg CO <sub>2</sub> / unité)	Facteur d'émission indirectes (FE(i)) (kg CO <sub>2</sub> / unité)	Impact sur la consommation d'énergie primaire (MJ d'énergie primaire / unité)	Donnée
CO <sub>2</sub>	Gazole	Litre	Nombre de litre de Gazole consommés*(FE(d) +FE(i))	2.646 <sup>7</sup>	0.425 <sup>7</sup>	45.7 <sup>8</sup>	Quantité de ressources énergétiques consommée

<sup>7</sup>d'ap . ADEME. Avril 05. Facteurs d'émissions de CO<sub>2</sub> pour les combustibles. Les chiffres de l'ADEME à utiliser

<sup>8</sup>d'ap .Ecoinvent 2.0

**Sources :** ADEME. 2005 et Ecoinvent 2.0

Les émissions de gaz sont issues de deux types d'émissions à savoir les émissions indirectes lors de la production et de la mise à disposition de l'énergie en question. Ces émissions indirectes sont ajoutées aux émissions directes produites lors de la combustion de ces ressources énergétiques (ce sont essentiellement des émissions de CO<sub>2</sub>). Les facteurs d'émissions directes présentés sont fournis par l'ADEME (ADEME. 2005). Et les facteurs d'émissions indirectes sont issus d'Ecoinvent (V2. 0. 2008).

### e. Les émissions liées à la fabrication des agroéquipements

Les émissions liées aux fabrications des agroéquipements sont la somme des émissions liées à tous les matériaux qui constituent en moyenne ces équipements en plus des émissions produites lors de leur assemblage. La composition moyenne de matériaux par type de matériel est tirée de l'étude Lambert L (1996) réactualisé en 2008.

**Tableau 4:** Emission et consommation des énergies liées à la fabrication des agroéquipements

GAZ	Machine agricole	Facteur d'émissions indirectes (FE(i)) (kg éq. CO <sub>2</sub> / kg de matériel)	Impact sur la consommation d'énergie primaire (MJ d'énergie primaire / kg de matériel)
CO <sub>2</sub>	Tracteur	2,033	51,9
	Automotrices	1,908	48,1
	Travail du sol	1,657	40,5
	Epandeurs d'engrais. Pulvérisateur	1,678	42,4
	Semoirs	1,641	39,1

Source : GES'TIM page70

Les quantités de matériaux utilisés pour la fabrication des équipements (kg) sont multipliées par le facteur d'émissions indirectes liées à la fabrication des équipements (kg éq. CO<sub>2</sub> / kg) en question afin de déterminer les émissions liées à la fabrication des agroéquipements. Soit la formule ci-dessous :

$$E = FE(i) \times Q$$

Avec :

**E** : Emission liées aux fabrications de l'équipement

**Q** : Quantité de matériel (kg de matériel)

**E(i)** : Facteur d'émissions indirectes liées aux fabrications de l'équipement (kg éq. CO<sub>2</sub> / kg)

## f. Emissions indirectes liées au transport des équipements motorisés

Les consommations d'énergie et impacts sur l'effet de serre pris en compte pour les étapes de transport ont été calculés à partir des données de ADEME ( 2007 ) présentées dans la guide des facteurs d'émissions utilisés dans le Bilan carbone (version 5.0)

**Tableau 5:** Extrait du tableau présentant les consommations moyennes d'énergie pour le transport

Mode de transport	Ressource consommée (unité)	Ressource consommée (unité)	Consommation de ressource 1 (en unité/ t. km)	Consommation de ressource 2 (en unité/ t. km)
Camion 1.5t chargement (3.5t PTAC)	Gazole (l)		0,2778	
Camion 10 à 17 t chargements (11 à 32,6t PTAC)	Gazole (l)		0,0598	
Camion 25t chargement (Tracteurs routier 40t)	Gazole (l)		0,0260	

**Source :** GES'TIM page 104

Les quantités de gazole consommées par (t.km) sont multipliés par les facteurs d'émission directes et indirectes de consommation d'énergie ( gazole ) afin de déterminer les émissions de CO<sub>2</sub> liées au transport du matériel sur les chantiers.

$$E = Q X (FE(i) + FE(d))$$

Avec :

**E** = émission de CO<sub>2</sub> (Kg CO<sub>2</sub>)

**Q** = nombre de t.km

**FE(i)**= Facteur d'émissions indirect liées à la consommation de gazole (Kg CO<sub>2</sub>/ t.km)

**FE(d)**= facteur d'émission direct liées à la consommation de gazole (Kg CO<sub>2</sub>/ t.km)

## g. Méthode de calcul des consommations d'énergie des activités agricoles

**Tableau 6:** Méthode de calcul des consommations d'énergie des activités agricoles

Poste de consommation d'énergie (unité)	Calcul de la donnée technique	Données à utiliser pour le calcul	Sources
Consommation de gazole au champ pour une opération culturale (l/ha)	Consommation de gazole au champ = consommation spécifique * puissance du tracteur * taux de charge * débit du chantier	Consommation spécifique = 0,22 l/ch/h Taux de charge : =0,7 pour le travail du sol profond. sols lourds. Automotrice =0,6 pour le travail de sol <10cm. Sol légers =0,5 pour outils autre que travail du sol Débit de chantier : donnée très spécifique à l'exploitation. A collecter (h/ha) Puissance du tracteur a collecté	ARVALIS. d'ap. bancs d'essais tracteurs et barèmes du BCMA
Consommation de gazole pour trajets en utilitaire (l / Km)	Consommation de gazole = 0.08 l/km		ADEME. 2007. Bilan Carbone
Consommation de gazole pour le transport par bennes et plateaux agricoles sur route (l/km)	Consommation de gazole = consommation moyenne / vitesse	Consommation moyenne = 15l/h Vitesse : 15 Km/h sur chemin 30 km/h sur route	ARVALIS
Consommation de fioul pour le transport par camion (25t) (l/km)	Consommation de gazole = 0.37 l/km		ADEME. 2007. Bilan Carbone

Source : GES'TIM page 57/58

Dans AGRIBALLYSE , toutes les émissions ont été calculées par le biais de facteurs d'émissions fixes par kg de carburant , en supposant une vitesse et une puissance moyenne .Pour la combustion des carburants, le modèle proposé parecoinvent v2 (Nemecek and Kägi, 2007) a été retenu dans AGRIBALLYSE . Pour chaque type de substance, un facteur d'émission est appliqué à la quantité de carburant.

**Tableau 7:** Hypothèses de consommation de carburant pour les différentes opérations culturales

Opération culturales	Consommation de carburant (l/ha)
Semis	5
Epannage engrais minéral	2
Epannage fumier	12
Epannage lisier	5
Traitement phytosanitaire	1
Binage	4
Labour	25
Décompacteur	17
Chisel	10
Vibroculteur	6
Déchaumage	9
Herse	9
Rouleaux	3
Broyage	16
Récolte céréales à paille. Colza. Tournesol	22
Récolte betterave	29
Cultivateur	10

Source : GES'TIM page 100

## h. Estimation des émissions de CH<sub>4</sub>

A l'étape agricole il n'y a pas de production de CH<sub>4</sub>. Nous estimons donc les émissions de CH<sub>4</sub> à ce niveau comme nulles.

## i. Estimation des émissions de N<sub>2</sub>O liées à l'épandage du digestat

Les émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) désignent les émissions ayant lieu après dispersion des éléments azotés dans l'environnement, par volatilisation et lessivage. Toutes les émissions de N<sub>2</sub>O attribuées au secteur agricole sont désignées par le terme d'émissions directes.

### ➤ Emissions liées à l'épandage

Les émissions de Protoxyde d'azote sont de trois sortes :

- Des émissions liées à l'apport de produits azoté
- Des émissions liées à la volatilisation de l'azote
- Des émissions liées au lessivage de l'azote dans le sol

Le digestat étant d'origine organique nous nous sommes référés aux méthodes de calculs utilisées dans le cas du lisier animaux, plus précisément à la filière porcine.

Les détails de calculs pour la filière porcine :

Sachant que 5g de NH<sub>3</sub> sur 1000g sont redéposés en N<sub>2</sub>O, Nous avons pu obtenir un facteur d'émission prenant en compte la redéposition de NH<sub>3</sub> en N<sub>2</sub>O. Le calcul est le suivant :

$$\text{FE N20 avec NH3 redéposé} = \text{FE N20} + (5/1000 \times \text{FE NH}_3)$$

**Source :** Annexe au guide méthodologique pour l'estimation des impacts des activités agricoles sur l'effet de serre

**Tableau 8:** Emission N<sub>2</sub>O à l'épandage

Type d'effluent	Type d'épandage	FE N <sub>2</sub> O	Unité
Lisier mixte	Surface	0,481±0,132	g N <sub>2</sub> O/ ha/ m <sup>3</sup> /jour
	Enfouissement	0,432± 0,185	g N <sub>2</sub> O/ ha/ m <sup>3</sup> /jour
Fumier d'engraissement	Surface	0,008	g N <sub>2</sub> O/ ha/ m <sup>3</sup> /jour
	Enfouissement	0,025	g N <sub>2</sub> O/ ha/ m <sup>3</sup> /jour

**Source :** Annexe au guide méthodologique pour l'estimation des impacts des activités agricoles sur l'effet de serre page 125

Sous l'hypothèse que nous épandons 20 m<sup>3</sup> de digestat par hectare, le calcul des émissions de N<sub>2</sub>O liées à l'épandage s'effectue comme suit:

$$E_{N_2O} = d * FE_{N_2O} * t$$

Avec :

**d** : dose de digestat (m<sup>3</sup> / ha)

**t** : temps d'exposition (jour)

**FE N<sub>2</sub>O** : facteur d'émission (g N<sub>2</sub>O/ ha/ m<sup>3</sup>/jour)

**E N<sub>2</sub>O** : Emission de N<sub>2</sub>O (g N<sub>2</sub>O)

➤ **Emissions liées à la dénitrification de l'azote dans les sols**

Dénitrification / Nitrification engendre les émissions de N<sub>2</sub>O dans l'atmosphère (Heinen. 2006). Les émissions de N<sub>2</sub>O sont liées à l'épandage des produits azotés. Dans notre cas le produit considéré est le digestat qui est constitué majoritairement d'ammoniac.

**Tableau 9:** Emissions de N<sub>2</sub>O liées à la dénitrification de l'azote dans le sol

Gaz	Calcul d'exploitation (kg de gaz /ha)	Calcul filière (kg de gaz /ha)	Facteurs d'émissions	Données d'exploitation
N <sub>2</sub> O	Quantité totale d'azote organique apportée (kg / ha) *[FE(p)*taux de N lessivé *FE(l) +taux de N volatilisé *FE(v)]	Quantité totale d'azote organique apportée (kg / ha) *[FE(p)*30 % *FE(l) + 20% *FE(v)]	FE(p)=0,0157 kg N <sub>2</sub> O/ kg N apporté  FE(l)=0,0118 kg N <sub>2</sub> O/ kg N lessivé  FE(v)=0,0157 kg N <sub>2</sub> O/ kg N volatilisé	Dose d'azote apporté (kg N/ha).  Taux N lessivé  Taux N volatilisé

**Source :** Guide méthodologique gaz à effet de serre en exploitation agricole- document de travail-version 1 (Voir fiche FE N<sub>2</sub>O, Page 5)

L'exposition du digestat est estimée à 1 jour en raison de son exposition courte qui n'a lieu que lors de l'épandage (jour de l'épandage uniquement). La forme d'engrais apporté dans notre cas est très proche de lisier qui est un fertilisant organique.

Il est indiqué dans GES'TIM page 53 : " *Le taux de lessivage annuelle de 30% proposé par l'IPCC correspond en France aux situations les plus à risque. Ce taux annuel peut varier de 0 -5 % (situation d'inter culture courtes ou d'inter cultures longues avec CIPAN. En sols non filtrants de type limons profonds) à 30% (inter cultures longues sans CIPAN. Sols filtrant type sable). Avec des situations intermédiaires à 10 ou 20% de lessivage moyen annuel par exemple sol argilo-calcaires moyens avec alternances de cultures d'hiver et de printemps sans CIPAN)*"

Ce paragraphe vient justifier notre taux de lessivage 10% et le taux de volatilisation de 8% car notre culture est le CIPAN et le sol de type limon profond. Quant à la dose de digestat épandue, elle oscille entre 20 à 30 t/ha (20 à 30 m<sup>3</sup>/ ha ) soit une dose de N ( azote) de 80 à 120 kg/ha car le digestat est constitué de 4 pour mille d'azote donc pour 1 tonne on a 0,004 t d'azote soit 4 kg de N . On a donc 80 à 120 kg d'azote (N) par hectare de digestat épandu.

On a ainsi la formule ci-dessous :

$$\mathbf{Ed = d * [FE (p) * TI * FE (l) + Tv * FE (v)]}$$

Avec :

**Ed** : Emissions de N<sub>2</sub>O liées à la dénitrification (kg N<sub>2</sub>O )

**d** : Dose d'azote apporté (kg N/ ha).

**TI** : Taux N lessivé (%)

**Tv** : Taux N volatilisé (%)

**FE(p)** =0,0157 kg N<sub>2</sub>O/ kg N apporté

**FE (l)** =0, 0118 kg N<sub>2</sub>O/ kg N lessivé

**FE(v)** =0,0157 kg N<sub>2</sub>O/ kg N volatilisé

## **j. Produits phytosanitaires**

Le seul produit utilisé est l'herbicide du nom de nicosulfuron : A ce niveau les émissions sont plutôt liées à la fabrication de ces produits qu'à leur utilisation.

$$\mathbf{E \text{ désherbant} = Q * FE(i)}$$

Avec : **Q**=Quantité de matière active apportée (nicosulfuron) (Kg / ha)

**FE(i)**=Facteur d'émission indirect (kg éq. CO<sub>2</sub>/ kg de matière active)

**E désherbant**= Emissions liées à la production de désherbant pour année (kg éq. CO<sub>2</sub>).

### 3. Etape de méthanisation

#### a. Les émissions liées à la construction des bâtiments

Pour la détermination des émissions liées à la construction du méthaniseur il faut décrire la constitution des installations en matériaux, quantifier les présences de chacun des matériaux sur la durée de vie du bâtiment. On estime ensuite les émissions à l'aide des facteurs d'émission liés à chaque matériau. La durée de vie moyenne des matériaux utilisés est en moyenne 15 ans. On estime donc la durée de vie du méthaniseur à 15 années.

Inventaire des matériaux entrant dans la construction des bâtiments :

- ✓ L'acier galvanisé
- ✓ L'acier inoxydable
- ✓ Aluminium
- ✓ Le Béton
- ✓ Le bois
- ✓ Le Bois contreplaqué
- ✓ Le Zinc
- ✓ Le Fibre ciment
- ✓ Le plastique
- ✓ Polyester
- ✓ Polyuréthane
- ✓ Cuivre
- ✓ Verre

Les impacts étant de plusieurs types nous avons décidés de circonscrire notre périmètre d'étude pour cela les impacts du terrassement et du fonctionnement des bâtiments ne seront pas traités nous prendront uniquement en compte les impacts liés à la fabrication des matériaux utilisés pour la construction des bâtiments. Les facteurs d'émission exprimés kg éq CO<sub>2</sub> par unité (kg) de matériaux utilisé afin de déterminer les impacts en kg éq CO<sub>2</sub> émis par quantité de matière émise.

$$E = FE \times Q$$

**FE** = Facteur d'émissions d'éq CO<sub>2</sub> liées aux matériaux en question (Kg éq CO<sub>2</sub> / unité)

**E** = Emissions (kg éq CO<sub>2</sub>)

**Q** = quantité de matière (kg)

Les chiffres d'émissions de gaz à effet de serre liés à la fabrication des matériaux de base utilisés pour la construction du méthaniseur sont consignés dans le tableau suivant (Emissions en CO<sub>2</sub> éq liées à la fabrication des matériaux).

**Tableau 10:** Emissions de CO<sub>2</sub> équivalent liées à la fabrication des matériaux

Matériaux (type d'usage)	Unité	Energie Primaire (MJ/unité)	éq CO2 (Kg / unité)	Source
Fonte	Kg	25	1,28	Ecoinvent /S –BIO IS -APME
Acier	Kg	23	1,22	Ecoinvent/S-BIO IS- Ecoinvent / Bilan PRODUIT
Acier inoxydable	kg	35		BIO IS
Acier galvanisé	Kg	26		BIO IS
aluminium	Kg	116	9,09	m. Ecoinvent /Bilan PRODUIT BIO IS
Aluminium extrudé	Kg	145		m. Ecoinvent /S- BIO IS
Alliages d'aluminium + Cu ( mécanique)	Kg	190		APME
Alliages d'aluminium + Mn ( emballage)	Kg	190		APME
Caoutchouc synthétique	kg	81	1,805	Ecoinvent/S –Université Cergy / Bilan Produit
Cuivre (câbles et moteur)	kg	27	1,71	Ecoinvent/ Bilan Produit
Béton	m <sup>2</sup>	482	52	Inies
Bloc béton cellulaire	m <sup>2</sup>	450	43,63	Inies
Parpaing-bloc béton	m <sup>2</sup>	158	16	Inies
Bois (Charpentes, menuiseries, bardage)	Kg	7		BIO IS
Bois aggloméré (bois et colles) MDF	m <sup>3</sup>	8980	307	Ecoinvent/ Bilan Produit
Briques	m <sup>2</sup> de cloison	105	6,257	Inies
Laine de roche	Kg	22	1,48	Ecoinvent/ Bilan Produit
Laine de verre	m <sup>2</sup> de laine	68	2,725	Inies
Laine de verre	kg	6	0.387	France-Obtention.fabrication.transport.Isolant minéral expansé
Ciment	kg	3	0.76	Europe-Obtention.fabrication.transport
Verre	kg	15	1.42	Europe-Obtention matériau. Verre blanc non recyclé
Carton (emballage)	kg	19	1.16	Europe-Obtention.fabrication.transport
Résine époxy	kg	133	6.67	Europe-Obtention.fabrication.transport
Polystyrène expansé-EPS ou PSE	kg	84	2.73	Europe-Obtention.fabrication.transport

Polystyrène courant-HIPS/GPPS	kg	88	2.77	Europe-Obtention.fabrication.transport
ABS	kg	95	3.4	Europe-Obtention.fabrication.transport
PVC Canalisations	m	76	2.55	France-production.transport.vie. fin de vie.durée vie =50 ans. Canalisation pvc "moyenne" incluant produits complémentaires et emballages
Polycarbonate PC	kg	108	5.4	Europe-Obtention.fabrication.transport
Polypropylène PP(compo bia bag engrais)	kg	72	1.99	Europe-Obtention du matériau vierge(28).mise en œuvre (1 Pièce PP moulée par injection)
Polyéthylène téréphtalate PET	kg	74	2.47	Europe-Obtention du matériau vierge(38).mise en œuvre (1 Pièce PP moulée par extrusion soufflage)
Polyuréthane mousse	kg	67		Europe-Obtention matériau résine. Matière vierge
Polyuréthane mis en œuvre PUR	kg	99	4.22	Europe-Obtention.fabrication.transport. Moyenne PUR rigide expansé (99.6) et PUR souple(98.7)
Polychlorure de vinyle PVC rigide	kg	58	2.15	Europe-Obtention.fabrication.transport.PVC pour profilés et tubes
Polychlorure de vinyle PVC souple	kg	62	2.69	Europe-Obtention.fabrication.transport.PVC pour les fils électriques et revêtements
Polychlorure de vinyle-PVC-extrudé ou calandrage ou film non plastifié	kg	100	3.6	Europe-Polyvinylidenechloride/oranulate/at plant/CH U
Polyester	kg	120	7.01	Europe-Obtention.fabrication.transport.polyester insaturé
Polyster textile	kg	225	19.7	France
Plastiques recyclés	kg	14		Europe-Obtention matériau
Textile coton	kg	107	2.1	Pays-Bas-Cotton fabric
Moyenne composants informatiques	kg	72200	9160	Obtention.fabrication.transport.circuit intégré électronique (1 mm <sup>2</sup> de circuit ~ 1.6x10 <sup>-2</sup> a)

**Source :** Guide méthodologique gaz à effet de serre en exploitation agricole-document de travail –version 1, page 73, 74

## b. Amortissement

La méthode d'amortissement utilisée pour tous les calculs est la méthode d'amortissement linéaire. Elle a consisté à diviser les émissions issues du fonctionnement des machines ou des installations par leur durée de vie respectives. Nous avons ensuite fait le cumul des résultats.

## c. Fuites en méthanisation

Calcul de la surface des bâches afin d'exprimer les fuites de gaz. Les bâches sont sous forme conique et leur surface sont :

- 761,31 m<sup>2</sup> pour la surface de la couverture bâche de la cuve de stockage
- 468,625 m<sup>2</sup> pour la surface de la couverture bâche du digesteur
- 468,625 m<sup>2</sup> pour la surface de la couverture bâche du post digesteur

➤ On a ainsi un surface totale de  $761,31+468,625+468,625 = 1\,698,56$  m<sup>2</sup>

La perméabilité au gaz est de 1000 m<sup>3</sup> / m<sup>2</sup> / mbar et la pression de service de 0,002 bar. On obtient des fuites de 0,0034 N m<sup>3</sup> de biogaz chaque jour soit 1,24 N m<sup>3</sup> de biogaz à l'année. Si on considère la production annuelle de biogaz qui est de 1 872 450,00 N m<sup>3</sup>, les fuites sont estimées à un pourcentage de 0,0000662 % qui est négligeable. Cependant nous ajoutons à cela les fuites complémentaires liées à l'installation globale du méthaniseur qui sont estimés à 1,5% de perte de biogaz.

- Les émissions de CO<sub>2</sub> liées aux fuites sont estimées à 45% de la somme des fuites liées à la perméabilité des bâches et des fuites complémentaires
- Quant aux émissions de CH<sub>4</sub> liées aux fuites sont estimées à 55% de la somme de ces deux sources de fuites

Le biogaz étant composé en moyenne à 45% de CO<sub>2</sub> et 55% de CH<sub>4</sub>

Les deux mesures sont ramenées en unité de poids (kg) en multipliant les volumes obtenu par la masse volumique à l'état gazeux respectifs des gaz, le CH<sub>4</sub> est lui ramenés en éq CO<sub>2</sub> en multipliant les émissions de CH<sub>4</sub> par le PRG du CH<sub>4</sub> soit 25.

Avec :

Masse volumique du CO<sub>2</sub> en phase gazeuse (1,013 bar et 15 °C) : 1.8714 kg/m<sup>3</sup>

Masse volumique du CH<sub>4</sub> en phase gazeuse (1,013 bar et 15 °C) : 0.6797 kg/m<sup>3</sup>

**Source** : site officiel d'Air Liquide

## 4. Etape d'épuration et d'injection

### ➤ CO<sub>2</sub> émis en phase d'épuration et d'injection

Un volume de biogaz de 1 844 362,01 N m<sup>3</sup> arrive à la phase d'épuration à l'année, ce volume est constitué de 45% soit (829 962,90 N m<sup>3</sup>) de CO<sub>2</sub> rejeté à l'atmosphère et 55% soit (1 014 399,11 N m<sup>3</sup>) de méthane obtenu par année à l'épuration.

La quantité de méthane obtenu à l'année à l'épuration est soumise à une perte lors de la phase d'épuration estimée à 0,65% de méthane qui est rejetés à l'atmosphère.

Les deux mesures sont ramenées en unité de poids (kg) en multipliant les volumes obtenu par la masse volumique à l'état gazeux respectifs des gaz, puis le CH<sub>4</sub> est ramené en éq CO<sub>2</sub> en multipliant les émissions de CH<sub>4</sub> par le PRG du CH<sub>4</sub> soit 25.

Avec :

Masse volumique du CO<sub>2</sub> en phase gazeuse (1,013 bar et 15 °C) : 1.8714 kg/m<sup>3</sup>

Masse volumique du CH<sub>4</sub> en phase gazeuse (1,013 bar et 15 °C) : 0.6797 kg/m<sup>3</sup>

**Source** : site officiel d'Air Liquide

## 5. Combustion du bio méthane

L'équation de combustion du méthane en présence d'oxygène s'écrit comme suite :



Nous utilisons cette équation pour matérialiser la destruction du CH<sub>4</sub> (notre bio méthane) dans les chaudières et gazinières pour la création de chaleur.

On a: nombre de mole (n<sub>1</sub>) de CH<sub>4</sub> égale au nombre de mole (n<sub>2</sub>) de CO<sub>2</sub> et

M<sub>1</sub>=m<sub>1</sub>/n<sub>1</sub> soit (M<sub>1</sub>) la masse molaire de CH<sub>4</sub> et (m<sub>1</sub>) sa masse

M<sub>2</sub>=m<sub>2</sub>/n<sub>2</sub> soit (M<sub>2</sub>) la masse molaire de CO<sub>2</sub> et (m<sub>2</sub>) sa masse

D'où m<sub>1</sub>= n<sub>1</sub> x M<sub>1</sub> et m<sub>2</sub>= n<sub>2</sub> x M<sub>2</sub>

Avec

- ✓ M<sub>H</sub>= 1 g.mol<sup>-1</sup>
- ✓ M<sub>C</sub>=12 g.mol<sup>-1</sup>
- ✓ M<sub>O</sub>=16 g.mol<sup>-1</sup>
- ✓ Masse molaires de CH<sub>4</sub> =16 g.mol<sup>-1</sup>
- ✓ Masse molaire de CO<sub>2</sub> = 44 g.mol<sup>-1</sup>

L'équation de combustion du méthane ci-dessus nous montre que 16g de CH<sub>4</sub> en combustion en présence d'oxygène entraîne la production de 44g de CO<sub>2</sub> d'où le facteur de conversion de CH<sub>4</sub> en CO<sub>2</sub> 44/16.

Cela nous permet de déterminer la quantité de CO<sub>2</sub> produite par la combustion du bio méthane produite chaque année par le modèle de méthanisation

On a donc :

$$Q = q \times (44/16)$$

Avec

**Q** : Quantité de CO<sub>2</sub> (kg)

**q** : quantité de Bio méthane (kg)

## 6. Fonctionnement Electrique dans la méthanisation

**Tableau 11:** Emissions de CO<sub>2</sub>-éq liées à la consommation d'électricité (GES'TIM page 55)

Gaz	Ressources énergétique	Unité	Calcul des émissions en Kg de gaz / unité de ressource énergétique	Facteur d'émission directe (FE(d)) (kg CO <sub>2</sub> /unité)	Facteur d'émission directes (FE(i)) (kg CO <sub>2</sub> /unité)	Impact sur la consommation d'énergie primaire (MJ d'énergie primaire / unité)	Donnée
	Electricité moyenne FR	kWh	Quantité d'électricité consommée *FE(i)		0.0843 <sup>9</sup>	11.59 <sup>8</sup>	

<sup>7</sup>d'ap . ADEME. Avril 05. Facteurs d'émissions de CO<sub>2</sub> pour les combustibles. Les chiffres de l'ADEME à utiliser

<sup>8</sup>d'ap .Ecoinvent 2.0

**Sources** : ADEME. 2005 et Ecoinvent 2.0

Le nombre de kWh d'électricité consommée est multiplié par le facteur d'émissions indirectes liées à la production de l'électricité (kg éq. CO<sub>2</sub> / kg) afin de déterminer les émissions liées à la consommation d'électricité. Soit la formule ci-dessous :

$$E = FE(i) \times N$$

Avec :

**E** : Emission liées à la consommation d'électricité.

**N** : nombre de kWh d'électricité consommée (KWh)

**FE(i)** : facteur d'émissions indirectes liées à la production de l'électricité  
(kg éq. CO<sub>2</sub> / kg)

## **7. Sources des données**

Les données d'entrées sont fournies par le constructeur MT Energie, les dirigeants d'ARTAIM conseil et les laboratoires INNOLAB et AQUANALYSE LABORATOIRE

(Voir ANNEXES)

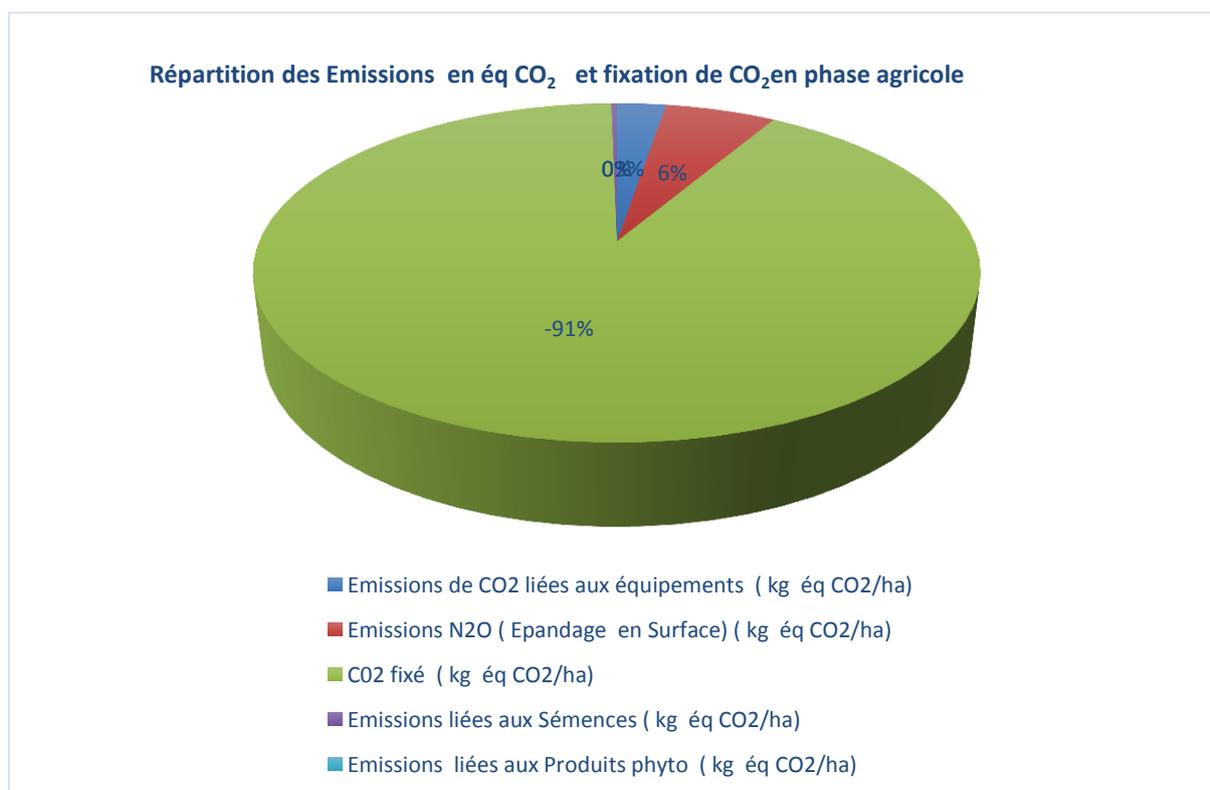
## IV. RESULTATS ET DISCUSSION

### 1. Etape Agricole

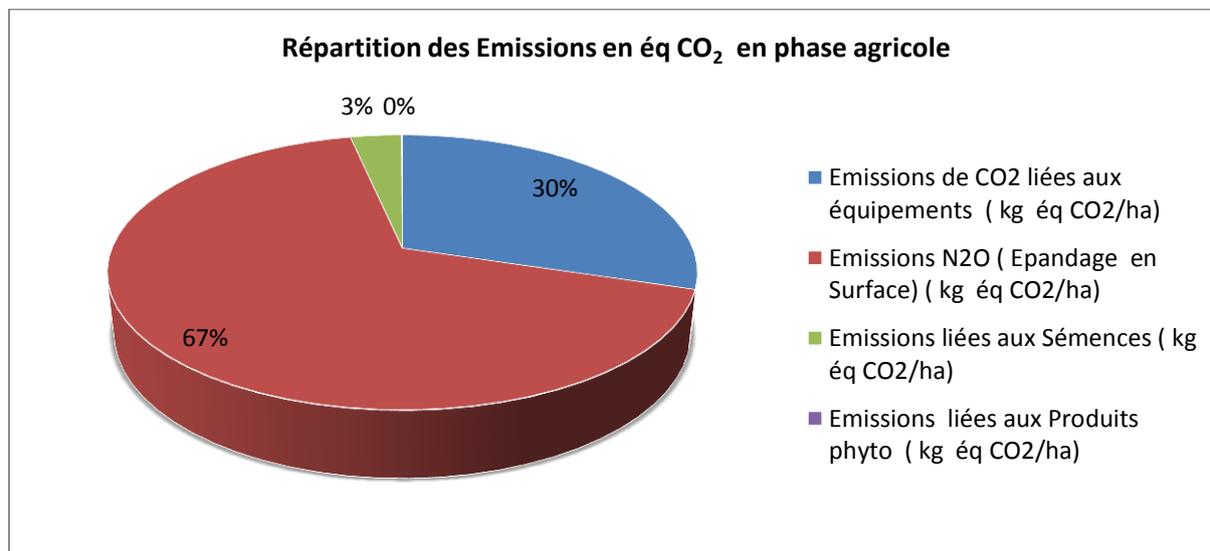
A cette phase nous obtenons les données indiquées dans le tableau ci-dessous qui met en évidence les valeurs des différentes émissions produites à la phase agricole et la quantité de carbone fixé

**Tableau 12:** Bilan carbone de la phase agricole

BILAN CARBONE DE LA PHASE AGRICOLE	
ETAPES	Emissions ( kg éq CO <sub>2</sub> /ha)
Emissions de CO <sub>2</sub> liées aux équipements (kg éq CO <sub>2</sub> /ha)	289,85
Emissions N <sub>2</sub> O (Epannage en Surface) (kg éq CO <sub>2</sub> /ha)	651,41
CO <sub>2</sub> fixé ( kg éq CO <sub>2</sub> /ha)	-10 113,02
Emissions liées aux Semences (kg éq CO <sub>2</sub> /ha)	32,33
Emissions liées aux Produits phyto (kg éq CO <sub>2</sub> /ha)	0,54
Différence des émissions totales et fixation de CO <sub>2</sub> à la phase agricole (kg éq CO <sub>2</sub> /ha)	-9 138,88



**Figure 1:** Répartition des Emissions en éq CO<sub>2</sub> et de la fixation de CO<sub>2</sub> en phase agricole



**Figure 2:** Répartition des Emissions en éq CO<sub>2</sub> en phase agricole

Nous avons à cette phase environ 12 fois plus de fixation de CO<sub>2</sub> que d'émissions. En effet le carbone fixé évalué en CO<sub>2</sub> vaut 10 113,02 kg de CO<sub>2</sub> à l'hectare. Il se trouve que la majeure partie des émissions est les émissions produites par l'épandage du digestat (nitrification et la dénitrification de l'azote dans le sol).

Ces émissions sont en effet des émissions de N<sub>2</sub>O. Converties en éq CO<sub>2</sub> elles s'estiment à environ 67% des émissions totales de la phase agricole. Les émissions liées au fonctionnement des équipements constituent 30% des émissions totales de cette phase. Quant aux émissions liées à la fabrication et au transport des semences, elles sont de 3% des émissions de la phase agricole. Par compte les émissions produites par les produits phytosanitaires pris dans les émissions totales de la phase agricole sont presque nulles en pourcentage.

Généralement les principaux gaz à effet de serre émis par les activités agricoles sont le méthane (CH<sub>4</sub>) (inexistant dans notre cas car il n'y a pas d'élevage) et le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) qui représentent respectivement 35% et 55% des émissions du secteur agricole. Les 10% restant concernent les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la combustion des ressources énergétiques (CITEPA/CORALIE/format SECTEN-Mise à jour février 2008).

Ces résultats sont quelque peu différents des résultats des études précitées car on utilise des fertilisants organiques constitués majoritairement d'azote (N). Le digestat est ainsi sensible à la dénitrification et la nitrification donc à la production de N<sub>2</sub>O. Cela explique la différence entre les émissions engendrées par les fertilisant soit 55% dans les études précitées et dans notre cas un peu plus soit 67%. L'avantage est qu'il n'y a pas d'émission de CH<sub>4</sub> car on ne fait pas d'élevage dans notre modèle. Globalement les émissions à la phase agricole sont limitées dans le modèle développé.

### a. Estimations des émissions de CO<sub>2</sub> liées aux semences

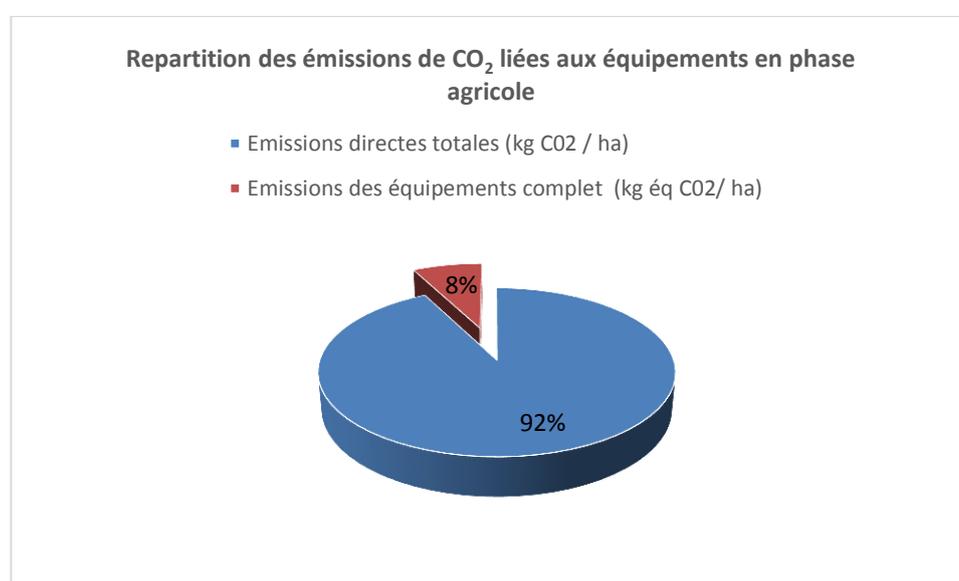
Les émissions liées à la fabrication et au transport des semences s'estiment à 32,33kg éq CO<sub>2</sub>/ha soit seulement 3% des émissions de la phase agricole donc négligeable.

### b. Estimations des émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'évolution des plantes et estimation du CO<sub>2</sub> fixé par les plantes au cours de l'étape agricole

Le carbone fixé évalué en CO<sub>2</sub> vaut 10 113,02 kg de CO<sub>2</sub> à l'hectare, généralement appelé carbone biogénique a été comptabilisé dans notre bilan final car tous les flux sortant de carbone ont été pris en compte dans l'étude. La quantité de carbone fixé constitue donc le flux entrant de carbone

### c. Les émissions liées a l'utilisation des ressources énergétiques

Emissions directes totales (kg CO <sub>2</sub> / ha)	267,94
Emissions des équipements complet (kg éq CO <sub>2</sub> / ha)	21,92



**Figure 3:** Répartition des émissions de CO<sub>2</sub> liées aux équipements en phase agricole

Les émissions liées au fonctionnement des équipements en phase agricole sont 13 fois plus élevées que les émissions de CO<sub>2</sub> liées au transport et à la fabrication des équipements cela s'explique par l'intensité du travail agricole qui généralement demande beaucoup d'énergie. Malgré le fait que les techniques de culture sont basés sur un travail superficiel du sol, les émissions liées au fonctionnement des équipements sont significatif. Il faudrait également noter que les coûts carbone à l'heure des équipements ne sont pas élevés ce qui rend négligeable les émissions indirectes comparés aux émissions directes. Cependant ces émissions peuvent être

minimisées en faisant recours à des équipements récents utilisant moins d'énergie ou fonctionnant à partir d'énergie vertes ou d'électricité.

#### **d. Estimation des émissions de N<sub>2</sub>O liées à l'épandage du digestat**

Il se trouve que la majeure partie des émissions durant la phase agricole sont les émissions produites par l'épandage du digestat (nitrification et la dénitrification de l'azote dans le sol). Ces émissions sont en effet des émissions de N<sub>2</sub>O. Converties en éq CO<sub>2</sub> elles s'estiment à environ 67% des émissions totales de la phase agricole soit 651,41 kg éq CO<sub>2</sub>/ha. Pour réduire cela on ne fait qu'un seul apport de digestat.

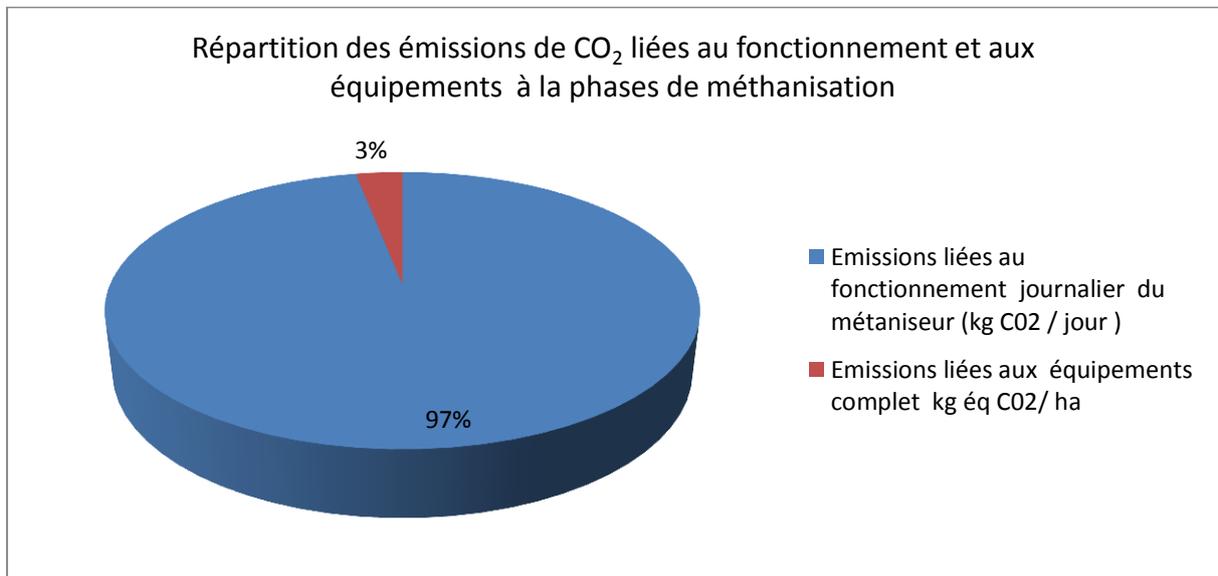
#### **e. Produits phytosanitaires**

La culture de maïs ensilage étant non alimentaires, un seul apport de produit phytosanitaire est effectué. Il s'agit du désherbant (nicosulfuron), utilisé avec une quantité de matière active apportée de 0,060 Kg / ha conduit à des émissions indirectes liées à sa production par année de production (de bio méthane) de 0,54 kg éq CO<sub>2</sub>/ha. Cela est fortement négligeable vu les autres résultats. Les émissions de CO<sub>2</sub> à ce niveau se trouvent donc limitées par ce fait.

### **2. Etape de méthanisation**

#### **a. Emissions de CO<sub>2</sub> liées au fonctionnement et aux équipements à la phase de méthanisation**

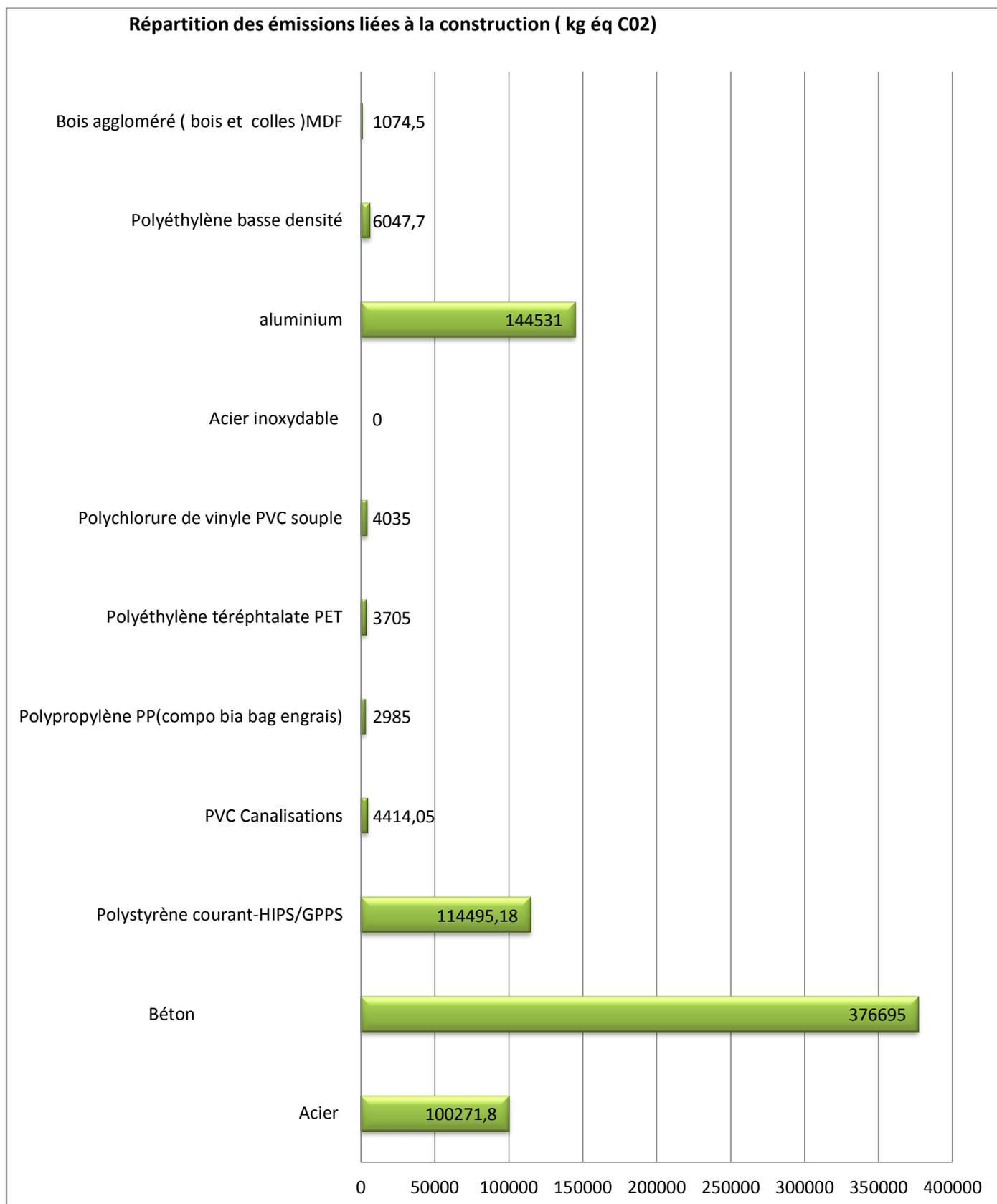
Emissions liées au fonctionnement du méthaniseur (kg CO <sub>2</sub> / année)	37 054,98
Emissions liées aux équipements complet assurant le fonctionnement (kg éq CO <sub>2</sub> / année)	1 161,39



**Figure 4:** Répartition des émissions de CO<sub>2</sub> liées au fonctionnement et aux équipements à la phase de méthanisation

Les émissions de CO<sub>2</sub> liées aux équipements à la phase de méthanisation sont négligeables devant celles liées à son fonctionnement. En effet Les émissions liées au fonctionnement journalier du méthaniseur assuré par le chargeur télescopique sont plus de 17 fois les missions de CO<sub>2</sub> liées au transport et à la fabrication du chargeur lui-même. Cela s'explique par le fait que le chargeur travaille durant toute l'année en raison d'une heure par jour. Vu la quantité de biomasse qu'il transporte (30 tonnes/heure) les émissions de CO<sub>2</sub> s'estiment à 36,85 kg CO<sub>2</sub> / heure. Il faudrait également noter comme précédemment que les coûts carbone a l'heure des équipements ne sont pas élevés cela rend négligeable les émissions indirectes comparés aux émissions directes liées au chargeur télescopique. D'autre part les émissions liées au fonctionnement journalier du méthaniseur assuré par l'électricité vaut presque 2 fois les émissions produites par le fonctionnement du chargeur soit 64,668 kg CO<sub>2</sub> / heure. Ces dernières émissions sont des émissions indirectes au même titre que les missions de CO<sub>2</sub> liées au transport et à la fabrication du chargeur.

## b. Les émissions liées à la construction des bâtiments



**Figure 5:** Répartition des émissions liées à la construction (kg éq CO<sub>2</sub>)

La majeure partie des émissions est due au béton pour la construction des cuves, cela s'élève à 376 695 kg éq CO<sub>2</sub> ensuite arrive les émissions dues à l'aluminium constituant le bardage des cuves qu'on évalue à 144 531 kg éq CO<sub>2</sub> et les émissions dues au polystyrène pour l'isolation des 3 cuves qui s'estiment à 114 495,18 kg éq CO<sub>2</sub> enfin les émissions dues à l'acier du béton armé des cuves plus l'acier du process qui s'estime à 100 271,8 kg éq CO<sub>2</sub>. Tous les autres matériaux ont des émissions inférieures à 5 000 éq CO<sub>2</sub>.

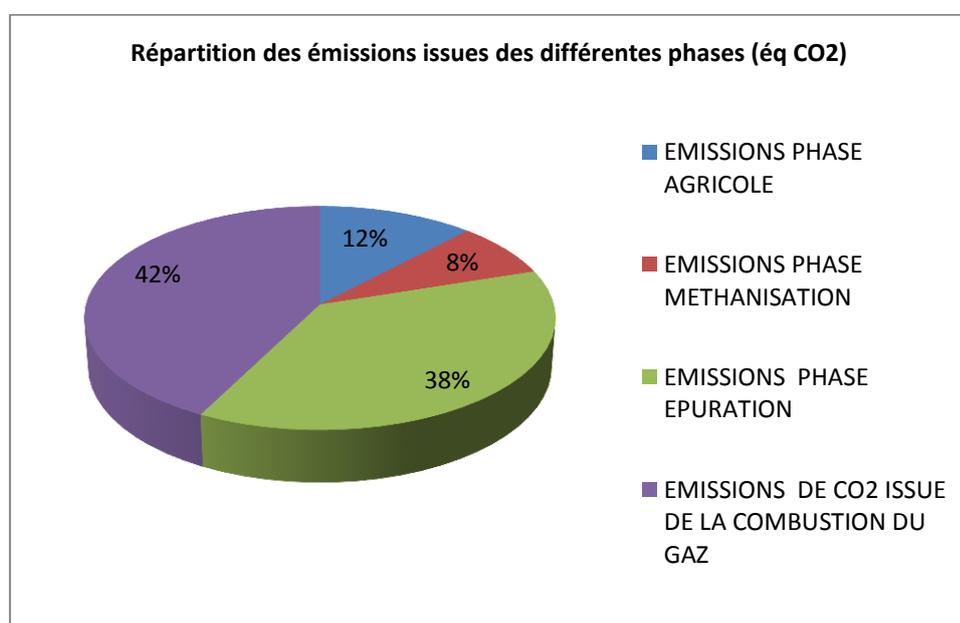
Les facteurs d'émission d'éq CO<sub>2</sub> de la plupart des matériaux utilisés ont une moyenne d'environ 2,8 kg éq. CO<sub>2</sub>/ unité de matériaux en dépit du bois qui a un facteur d'émission nettement élevé soit 307,00 kg éq. CO<sub>2</sub>/ unité de bois (**l'unité de bois ici utilisé étant le m<sup>3</sup>**). Le fait que nous n'utilisons que 3,5 m<sup>3</sup> de bois nous met à l'abri des émissions liées au bois qui aurais pu être énorme si la majorité de nos matériaux était du bois.

Il faudrait également noter que toutes ses émissions sont dues à l'exploitation, la fabrication des composantes et le transport des matériaux en questions.

### c. CO<sub>2</sub> émis en phase d'épuration et d'injection

L'épuration rejette à l'atmosphère 45% du biogaz sous forme de CO<sub>2</sub> soit 829 962,90 N m<sup>3</sup> de CO<sub>2</sub> et on obtient 55% soit 1 014 399,11 N m<sup>3</sup> de méthane après à l'année à l'épuration. Cependant la quantité de méthane obtenu à l'année à l'épuration est soumise à une perte estimée à 0,65% de méthane qui est rejeté à l'atmosphère soit 6 593,59 N m<sup>3</sup>.

### d. Répartition des émissions issues des différentes phases



**Figure 6:** Répartition des émissions issues des différentes phases (éq CO<sub>2</sub>)

La phase d'épuration et de combustion du bio méthane sont les phases les plus importantes qui ensemble sont source de 80% des émissions en kg éq CO<sub>2</sub>. En effet les émissions du modèle développé par ARTAIM CONSEIL proviennent pour la plupart de la phase d'épuration soit 38% ce qui correspond à 1 704 104,16 kg éq CO<sub>2</sub> et de la combustion de bio méthane soit 42% correspondant à 1 883 764,87 kg éq CO<sub>2</sub>. Quant à la phase agricole nous constatons 12% des émissions soit 533 337,21 kg éq CO<sub>2</sub>. La méthanisation en soit est la phase qui émet le moins de GES soit 8% cela correspond à 374 927,24 kg éq CO<sub>2</sub> qui est essentiellement dues aux fuites de gaz.

### **3. Combustion du bio méthane**

C'est la phase la plus productrice de GES elle constitue à elle seule 42% des émissions soit 1 883 764,87 kg CO<sub>2</sub>. Cependant il se trouve qu'à ce niveau que les gaz sont directement émis sous forme de CO<sub>2</sub>. Le CO<sub>2</sub> étant le gaz qui a le plus faible pouvoir de réchauffement global (PRG), les impacts seront moins prononcés que si cela avait été un autre GES que le CO<sub>2</sub>.

### **4. Bilan global**

Durant le cycle de vie du bio méthane à savoir les trois phases de production qui font l'objet de notre étude, nous avons plus de captage de CO<sub>2</sub> que d'émissions. La différence entre les émissions de CO<sub>2</sub> et le captage est 1 040 743,27 kg éq CO<sub>2</sub> qui correspond au carbone capté évalué en éq CO<sub>2</sub>. Le carbone total capté évalué en éq CO<sub>2</sub> est 5 536 876,74 kg éq CO<sub>2</sub> et les émissions totales valent 4 496 133,47 kg éq CO<sub>2</sub>. La production de bio méthane est donc énormément rentable écologiquement comparée aux énergies fossiles qui sont émettrices de GES. La production de bio méthane à partir des CIVE est à encourager.

Il est à noter que le CO<sub>2</sub> fixé par les CIVE n'est pas totalement digéré par les bactéries de méthanisation. La fraction ligneuse des CIVE reste présente dans le digestat. Elle est retournée au sol et constitue l'humus du sol. Le carbone de cette lignine est fixé assez durablement. Sa dégradation dépendra fortement du type de travail du sol. Il faudrait analyser le taux de matière organique des sols recevant le digestat sur une durée de 10 années minimum. Cette fraction ligneuse qui n'a pas été prise en compte est un élément d'explication de notre bilan globalement plus capteur que émetteur.

### **5. L'évaluation de l'utilité du bio méthane**

L'évaluation de l'utilité du bio méthane ne pourrait se baser uniquement sur le résultat de notre bilan. Il faudrait toutefois faire une comparaison avec d'autres formes d'énergies. Dans notre étude nous ferons une comparaison entre les émissions produites dans la production de bio méthane et celle d'une énergie fossile ayant le même rôle que le bio méthane dans notre vie quotidienne. Il s'agit des GPL (gaz de

pétrole liquéfié) issu du raffinage du pétrole brut ou le traitement du gaz issus des champs pétroliers et gaziers.

### Etude de référence

Les calculs d'émissions de CO<sub>2</sub> propane du Comité Français Butane Propane ci-dessous issus d'une étude menée en s'appuyant sur l'ADEME en vue de faire une comparaison des avantages écologiques du propane et du butane par rapport au charbon et au fuel nous permettrons de faire cette comparaison. Nous nous limiterons à comparer les résultats de l'étude concernant les GPL à notre bilan de carbone effectué.

*"Propane et butane sont issus de deux sources : le raffinage du pétrole brut ou le traitement du gaz issus des champs pétroliers et gaziers. Le Comité Français Butane Propane s'est appuyé sur l'ADEME pour étudier les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la partie amont de la chaîne de valeur des GPL pour chacune de ces deux sources.*

#### ***Emissions CO<sub>2</sub> propane et butane dans la partie amont de la chaîne de valeur pour du GPL issu de champs gaziers et pétroliers :***

*extraction pétrole brut : 28,5 kg de carbone par tonne de GPL ;*

*transport pétrole brut vers l'Europe : 18,4 kg de carbone par tonne de GPL ;*

*raffinage pétrole brut : 32,6 kg de carbone par tonne de GPL*

*Au total, la partie amont de la chaîne de valeur pour le GPL issu du raffinage du pétrole brut est responsable de 79,5 kg de carbone par tonne de GPL.*

*Emissions CO<sub>2</sub> propane et butane dans la partie amont de la chaîne de valeur pour du GPL issu du raffinage du pétrole brut :*

*extraction GAZ NATUREL brut : 25,7 kg de carbone par tonne de GPL ;*

*traitement du gaz naturel et récupération des gaz de pétrole liquéfiés (GPL) : 53,9 kg de carbone par tonne de GPL ;*

*transport : 20,2 kg de carbone par tonne de GPL*

*Au total, la partie amont de la chaîne de valeur pour le GPL issu de champs gaziers et pétroliers est responsable de 100,2 kg de carbone par tonne de GPL.*

*On constate que les émissions CO<sub>2</sub> du propane produit à partir du raffinage du pétrole brut sont significativement moins importantes que les émissions CO<sub>2</sub> du propane produit à partir du traitement du gaz issu des champs gaziers et pétroliers. 40% du propane venant du pétrole brut raffiné et 60% de champs gaziers et pétroliers, on peut estimer que l'amont de la chaîne de valeur du GPL (propane et butane) produit 91,9 kg de carbone par tonne de produit final.*

### ***CO2 propane butane en aval de la chaîne de valeur***

*Emissions CO2 propane et butane en aval de chaîne de valeur :*

*émissions CO2 propane et butane liées au transport aval (transport massif entre les raffineries ou terminaux maritimes et les centres de stockage du propane et du butane, distribution entre le centre de stockage et le lieu de consommation) : chaque tonne de produit final parcourt en moyenne 50 km, engendrant 4 kg de carbone par tonne de propane ou de butane ;*

*émissions CO2 propane et butane liées à la combustion : 803 kg de carbone par tonne de GPL.*

### ***CO2 propane butane bilan total***

*Au total, on peut estimer que la consommation d'une tonne de propane ou de butane entraîne l'émission de 898,9 kg de carbone. Les émissions de CO2 se montent à 260 grammes de CO2 par kWh."*

**Source :** [www.selectra.info](http://www.selectra.info)

### **Comparaison des émissions CO<sub>2</sub> propane et butane avec celles du bio méthane**

Nous avons obtenu dans notre étude des émissions de CO<sub>2</sub> de 4 496 133,47 kg éq CO<sub>2</sub>, l'équivalent à 1 226 218,219 kg carbone pour 685,01 tonnes de bio méthane. On a ainsi pour une tonne de bio méthane des émissions de 1 790,09 kg de carbone. Cela vaut presque deux fois les émissions produites pour une tonne de butane soit 898,9 kg de carbone. Cependant dans la production de bio méthane à partir des CIVE il n'y a pas que des émissions mais aussi des fixations de carbone à savoir 1 510 057,29 kg carbone pour 685,01 tonnes de bio méthane. Soit 2 204,45 kg de carbone fixé pour une tonne de bio méthane.

En déduisant les estimations des émissions de carbone des fixations de carbone on obtient 414,36 kg de carbone fixé dans la production d'une tonne de bio méthane à partir des CIVE.

On a également 96,51 grammes de CO<sub>2</sub> fixé par kWh pour le bio méthane issu de notre installation contre 260 grammes de CO<sub>2</sub> émis par kWh pour le GPL (propane – butane).

D'où le fort intérêt écologique du bio méthane issu de CIVE par rapport aux énergies fossiles de type GPL. Le bio méthane est donc un produit moins pollueur que des énergies fossiles telles que les GPL d'après nos résultats si on considère le carbone fixé durant la photosynthèse des plantes. Cependant **il faut noter que cela serait le contraire si on ne prend pas en compte les fixations de CO<sub>2</sub> lors de la photosynthèse des plantes.**

## V. PERSPECTIVES

### A. Usages possible du CO<sub>2</sub> rélargué

Le CO<sub>2</sub> étant utilisé comme intrant dans certains secteurs il pourrait être revalorisé afin de le rentabiliser les émissions de CO<sub>2</sub>. Une étude pourrait être faite en ce sens.

### B. Allocation économique du poids carbone sur le bio méthane et le digestat

Une allocation économique aurait pu être faite afin d'allouer une partie du CO<sub>2</sub> au digestat et le reste au produit principale qui est le bio méthane. Cependant des contraintes de temps ne nous ont pas permis de faire cela.

### C. Prise en compte du carbone fixé

Il faudrait aussi envisager le cas où le CO<sub>2</sub> capté n'est pas pris en compte dans le bilan car jusqu'à ce jour le carbone capté par l'intermédiaire de la photosynthèse est considéré comme carbone biogénique donc neutre en termes de changement climatique. Dans ce cas la consommation d'une tonne de bio méthane produirait des **émissions de 1 790,09 kg de carbone soit 416,94 grammes de CO<sub>2</sub> émis par kWh**. Cela est nettement supérieur aux émissions liées aux énergies utilisées en générale. Cette hypothèse est donc à vérifier de près.

## CONCLUSION

La production du bio méthane provoque des émissions de CO<sub>2</sub> à chaque niveau. L'utilisation de bio méthane contribue de manière non négligeable au réchauffement climatique par des émissions de CO<sub>2</sub>. Cependant la production de bio méthane à partir de CIVE à un avantage intéressant. En effet durant le processus de production du bio méthane à partir des CIVE qui par la photosynthèse captent plus de CO<sub>2</sub> que l'ensemble des émissions GES lors des phases de production. Le bio méthane s'avère ainsi écologiquement très avantageux.

Les Guides méthodologiques AGRIBALYSE, GES'TIM et le GIEC, nous ont permis de trouver les modèles et méthodes de calcul nécessaires pour effectuer le bilan carbone du bio méthane issu du modèle développé par ARTAIM CONSEIL. Les trois grandes phases de la méthanisation agricole donnent ainsi un bilan significatif en thème d'émissions, mais il se trouve qu'il y a plus de fixation de carbone que d'émission de GES, cela vient compenser les pollutions. On se retrouve finalement avec des fixations de CO<sub>2</sub> et non des émissions. La production de bio méthane est donc à encourager.

Vu l'importance des énergies vertes de nos jours, il serait intéressant de pousser cette étude en développant les approches cycle de vie et multicritère auprès des chercheurs et experts en ACV qui nous ont aidés à réussir cette étude. Cela nous permettra de vérifier une fois de plus nos résultats.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Nemecek T. and Kägi T., 2007. Life Cycle Inventories of Swiss and European Agricultural Production Systems –Data V2.0 ( 2007). Ecoinvent report No. 15a. Ed Swiss Center for Life Cycle Inventories, Zurich and Dübendorf, Switzerland . P360

GIEC, 2006b. Guidelines for national greenhouses gas inventories . Vol No 4: Agriculture, forestry and other land use ( AFOLU°. Ed Eggleston S., Buendia L. , Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. , Kanagawa, Japan.

Ecoinvent V2 (Nemecek et Kägi, 2007), par le biais d'un ICV « combustion du diesel/pétrole)

AGRIBALYSE, Rapport méthodologique,

GES'TIM

Guide méthodologique gaz à effet de serre en exploitation agricole-document de travail –version 1

LA METHANISATION (LAVOISIER)

IPCC 2001/2006,

ARVALIS 2005,

GIEC

CITEPA

<http://www.selectra.info/CO2-Propane.html>

[www.selectra.info](http://www.selectra.info)

<http://www.airliquide.com/>

[www.mt-energie.com](http://www.mt-energie.com)

AQUANALYSE LABORATOIRE

# ANNEXES

**ANNEXE 1 : Composition de la biomasse issue du maïs ensilage**

Composantes	Proportions
MS (Matière sèche)	31,90 ± 4,75 %
MSO (Matière sèche organique)	94,45 ± 1,65 %
Matières grasses	5,78 ± 1,05 g/kg MB*
Protéines	23,04 ± 4,00 g/kg MB*
Glucides	272,73 ± 48,49 g/kg MB*
Biogaz	198,82 ± 28,11
Méthane	52,00 ± 2,56 %
*MB (Matière Brute)	Matière brute

## ANNEXE 2 : Données de construction (Plastiques)

Canalisations						
m	m	m	m <sup>3</sup>			
DA	DN	Longueur	Va	Vn	Volume	Materiau
0,03	0,02	920	1,42	0,91	0,51 m <sup>3</sup>	PEHD
0,06	0,04	24	0,18	0,09	0,08 m <sup>3</sup>	PEHD
0,07	0,05	160	1,67	0,99	0,68 m <sup>3</sup>	PVC
0,17	0,15	447	30,03	24,82	5,21 m <sup>3</sup>	PVC
0,22	0,2	144	16,42	14,21	2,21 m <sup>3</sup>	PVC
0,27	0,25	24	4,16	3,70	0,46 m <sup>3</sup>	PVC
0,32	0,3	12	2,94	2,66	0,27 m <sup>3</sup>	PVC
		1731				
			Total	PVC	8,83 m <sup>3</sup>	
			Total	PEHD	0,60 m <sup>3</sup>	
Isolant						
m	m	m	m		volume total	
diam	ep p	ep s	h			
23	0,1	0,05	6		409,47 m <sup>3</sup>	
23	0,1	0,05	6		409,47 m <sup>3</sup>	
30	0,1	0,05	6		558,87 m <sup>3</sup>	
					1377,80	

<http://isolation.comprendrechoisir.com/comprendre/polyurethane>

	55111,87	55111,87	
	Toitures		
	total		
intemperies, gaz, filet, sangle	4,5 t		mélange PVC, PE, Polypropilène

### ANNEXE 3 : Données de construction (Métaux)

Alu				
			surf.	poids
Bardage	23	5,3	391,29 m <sup>2</sup>	0,63 t
	23	5,3	391,29 m <sup>2</sup>	0,63 t
	30	5,3	507,84 m <sup>2</sup>	0,82 t
Acier				
alligator		2,04 t		
tuyauterie divers		0,8 t		
chaudière		2,5 t		
torchère		0,7 t		
escalier / estrades...		1 t		
mats mélangeur		1,1 t		
Metaux mélangés				
melangeurs		3 t		
pompes		0,65 t		choix acier
Epuration		15 t		choix acier inox
(majorité acier et acier inox,				reste cuivre et allu)

### ANNEXE 4 : Données de construction (Bois)

Bois	
local technique	3,5 m <sup>3</sup>

## ANNEXE 5 : Données de construction



### EMPREINTE CARBONE

**CLIENT :** MT ENERGIE France SAS - 3, rue des Cigognes - 67960 ENTZHEIM

**CHANTIER :** O'TERRES ENERGIE SAS - M.DELAIRE Jean-François

POST - DIGESTEUR	
Matériaux	Quantité (T)
Acier	16.9
Bois	
Béton	175.25
Autre	

STOCKAGE	
Matériaux	Quantité (T)
Acier	36.6
Bois	
Béton	334.43
Autre	

DIGESTEUR	
Matériaux	Quantité (T)
Acier	16.9
Bois	
Béton	175.25
Autre	

<b>TOTAL ACIER (T)</b>	<b>70.4</b>
------------------------	-------------

<b>TOTAL BETON (T)</b>	<b>684.9</b>
------------------------	--------------

## ANNEXE 6: Analyse du digestat



### AQUANALYSE LABORATOIRE

ZI de Plancy l'Abbaye  
Chemin de Crève Coeur  
10380 PLANCY L'ABBAYE  
Tel : 03 25 37 32 93  
Fax : 09 70 06 49 06  
E-mail aquanalyse@orange.fr

Jeudi 27 Mars 2014

N° commande : 8 949  
Votre commande :  
Début d'Analyse : 06/03/2014  
Fin d'Analyse : 18/03/2014

Monsieur Lionel BOURSAUD  
AIRTAIM Conseil  
99 route des Vallées  
10400 MONTPOTHIER

### RAPPORT D' ESSAI N° : 201402-0503

N° d'échantillon : 2014020503      Date de prélév. : 12/09/2013      Nature Echant. : Digestat  
Votre réf. :      Heure de prélév. :      Design. éch. :  
Prélevé par : Vos soins      Date de réception : 21/02/2014      Lieu de prélév. : Méry sur Seine

Analyse	Méthode	Résultat	Unité
pH	NF ISO 10390	7.66	unité pH
Température de mesure du pH	-	13.8	°C
Matières Sèches (ST)	NF EN 12880	8.3	%
Matières volatiles à 550°C (ST)		80.4	% MS
Polychlorobiphényles (ST)	XP X 33-012	-	-
PCB 28 (ST)		< 0.24	mg/kg MS
PCB 52 (ST)		< 0.24	mg/kg MS
PCB 101 (ST)		< 0.24	mg/kg MS
PCB 118 (ST)		< 0.24	mg/kg MS
PCB 138 (ST)		< 0.24	mg/kg MS
PCB 153 (ST)		< 0.24	mg/kg MS
PCB 180 (ST)		< 0.24	mg/kg MS
Hydrocarbures Polyc. Arom. (ST)		-	mg/kg MS
Acénaphthène (ST)	XP X 33012	0.69	mg/Kg MS
Acénaphthylène (ST)	XP X 33012	< 0.24	mg/kg MS
Anthracène (ST)	XP X 33012	0.36	mg/Kg MS
Benzo (a) anthracène (ST)	XP X 33012	< 0.24	mg/Kg MS
Benzo (a) pyrène (ST)		< 0.24	mg/Kg MS
Benzo(b)Fluoranthène (ST)		< 0.24	mg/Kg MS
Benzo (ghi) pérylène (ST)	XP X 33012	< 0.24	mg/Kg MS
Benzo(k)Fluoranthène (ST)	XP X 33012	< 0.24	mg/Kg MS
Chrysène (ST)	XP X 33012	< 0.24	mg/Kg MS
Dibenzo(a,h)anthracène (ST)	XP X 33012	< 0.24	mg/Kg MS
Fluoranthène (ST)		0.56	mg/Kg MS
Fluorène (ST)	XP X 33012	0.88	mg/Kg MS
Indéno(1,2,3-cd)pyrène (ST)	XP X 33012	< 0.24	mg/Kg MS
Naphtalène (ST)	XP X 33012	0.34	mg/Kg MS
Phénanthrène (ST)	XP X 33012	1.9	mg/Kg MS

1/2

AQUANALYSE Laboratoire SARL - siège social : ZI de Plancy l'Abbaye - Chemin de Crève Coeur - 10380 PLANCY L'ABBAYE  
Au capital de 15 000€ - RCS TROYES : 518 731 245 - APE : 7120B

AGL - © G. Duhammes - 62390

# ANNEXE 7 : Analyse du digestat



## AQUANALYSE LABORATOIRE

ZI de Plancy l'Abbaye  
Chemin de Crève Coeur  
10380 PLANCY L'ABBAYE  
Tel : 03 25 37 32 93  
Fax : 09 70 06 49 06  
E-mail aquanalyse@orange.fr

Jeudi 12 Septembre 2013

N° commande : 6 907  
Votre commande :  
Début d'Analyse : 22/07/2013  
Fin d'Analyse : 11/09/2013

Monsieur Lionel BOURSAUD  
AIRTAIM Conseil  
99 route des Vallées  
10400 MONTPOTHIER

### RAPPORT D'ESSAI N° : 201307-0324

N° d'échantillon : 2013070324      Date de prélév. : 23/05/2013      Nature Echant. : DIGESTAT  
Votre réf. :      Heure de prélév. :      Désign. éch. : Digestat pour méthanisation agricole  
Prélevé par : Vos soins      Date de réception : 22/07/2013      Lieu de prélév. : Mery sur Seine

Analyse	Méthode	Résultat	Unité
Matières Sèches	NF ISO 11465	9.42	%
Demande Chimique en Oxygène	NFT 90-101	74 500	mg O2/kg MB
Demande biochimique en Oxygène	NF EN 1899-1	3870	mg O2/kg MB
Azote Kjeldahl	NF EN 25663	5372	mg/kg MB
Ammonium en NH4 sur MB	NFT 90-015-1	3200	mg/kg MB
Phosphore Total (P2O5)	NF EN ISO 11885	4230	mg/kg MB
Potassium (K2O) sur MB	NF EN ISO 11885	4336	mg K2O/kg MB
Magnésium total (MgO)	NF EN ISO 11885	2087	mg/kg MB
Sodium Total (Na2O)	NF EN ISO 11885	152	mg /kg MB
Carbone Organique Total.	NF EN 1484	3245	mg/kg MB

Les présents résultats ne s'appliquent qu'à l'échantillon qui nous a été soumis, sous réserve de prélèvement et conservation correcte de l'échantillon. La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Un résultat précédé du signe < correspond à la Limite de Quantification. Les incertitudes sur les résultats, calculées par le laboratoire sont disponibles sur demande. (ST) = sous-traité

Responsable Qualité  
Christine VEDEL

1/1

## ANNEXE 8: Analyse du digestat



### AQUANALYSE LABORATOIRE

ZI de Plancy l'Abbaye  
Chemin de Crève Coeur  
10380 PLANCY L'ABBAYE  
Tel : 03 25 37 32 93  
Fax : 09 70 06 49 06  
E-mail : aquanalyse@orange.fr

Jeudi 27 Mars 2014

N° commande : 8 949  
Votre commande :  
Début d'Analyse : 06/03/2014  
Fin d'Analyse : 18/03/2014

Monsieur Lionel BOURSAUD  
AIRTAIM Conseil  
99 route des Vallées  
10400 MONTPOTHIER

### RAPPORT D' ESSAI N° : 201402-0503

N° d'échantillon : 2014020503      Date de prélèv. : 12/09/2013      Nature Echant. : Digestat  
Votre réf. :      Heure de prélèv. :      Design. éch. :  
Prélevé par : Vos soins      Date de réception : 21/02/2014      Lieu de prélèv. : Méry sur Seine

Pyrène (ST)	XP X 33012	0.34	mg/Kg MS
Calcium total en CaO (ST)	EN13346/ISO 11885	21560	mg/kg
Cadmium (ST)	ISO 11885-15587/1	< 0.5	mg/kg MS
Cuivre sur MS (ST)	X 31147 / ISO 11885	52	mg/kg MS
Chrome sur MS (ST)	X 31147 / ISO 11885	37	mg/kg MS
Nickel sur MS (ST)	EN 13346 / ISO 11885	32	mg/kg MS
Plomb sur MS (ST)	X31147 / ISO 11885	11	mg/kg MS
Zinc sur MS (ST)	X 31147 / ISO 11885	280	mg/kg MS
Mercure sur MS (ST)	X 31147 / ISO 11885	< 1	mg/kg MS

Les présents résultats ne s'appliquent qu'à l'échantillon qui nous a été soumis, sous réserve de prélèvement et conservation correcte de l'échantillon. La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Un résultat précédé du signe < correspond à la Limite de Quantification. Les incertitudes sur les résultats, calculées par le laboratoire sont disponibles sur demande. (ST) = sous-traité

Responsable Qualité  
Christine VEDEL

2/2

## ANNEXE 9: Fonctionnement du méthaniseur



### Betriebsdaten Zeven II

**MT** | **BioMethan**<sup>®</sup>  
Gasaufbereitungs-Technologie

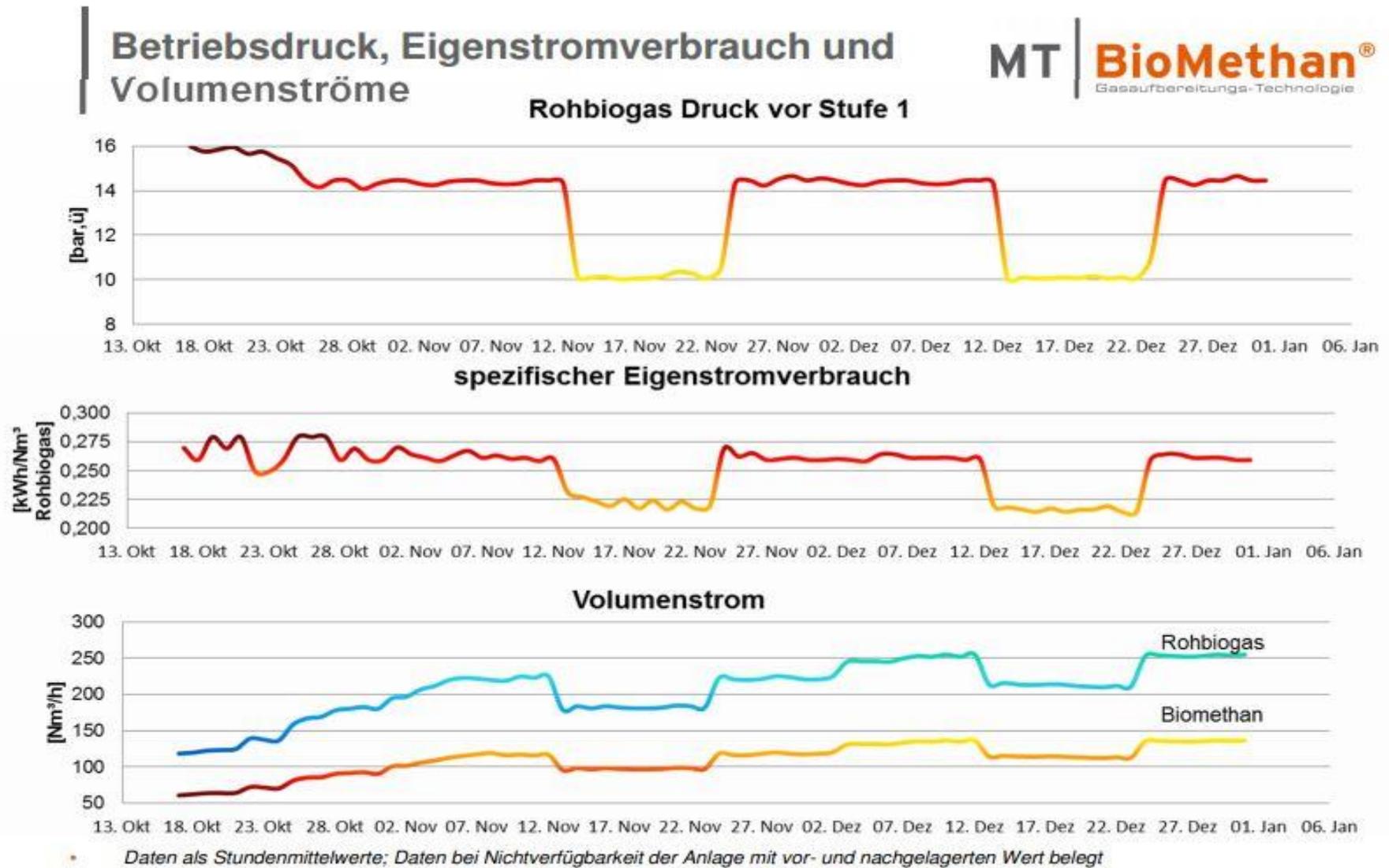
ANNEXE 10: Données de fonctionnement du méthaniseur

# Betriebsergebnisse Monate Oktober bis Dezember 2012

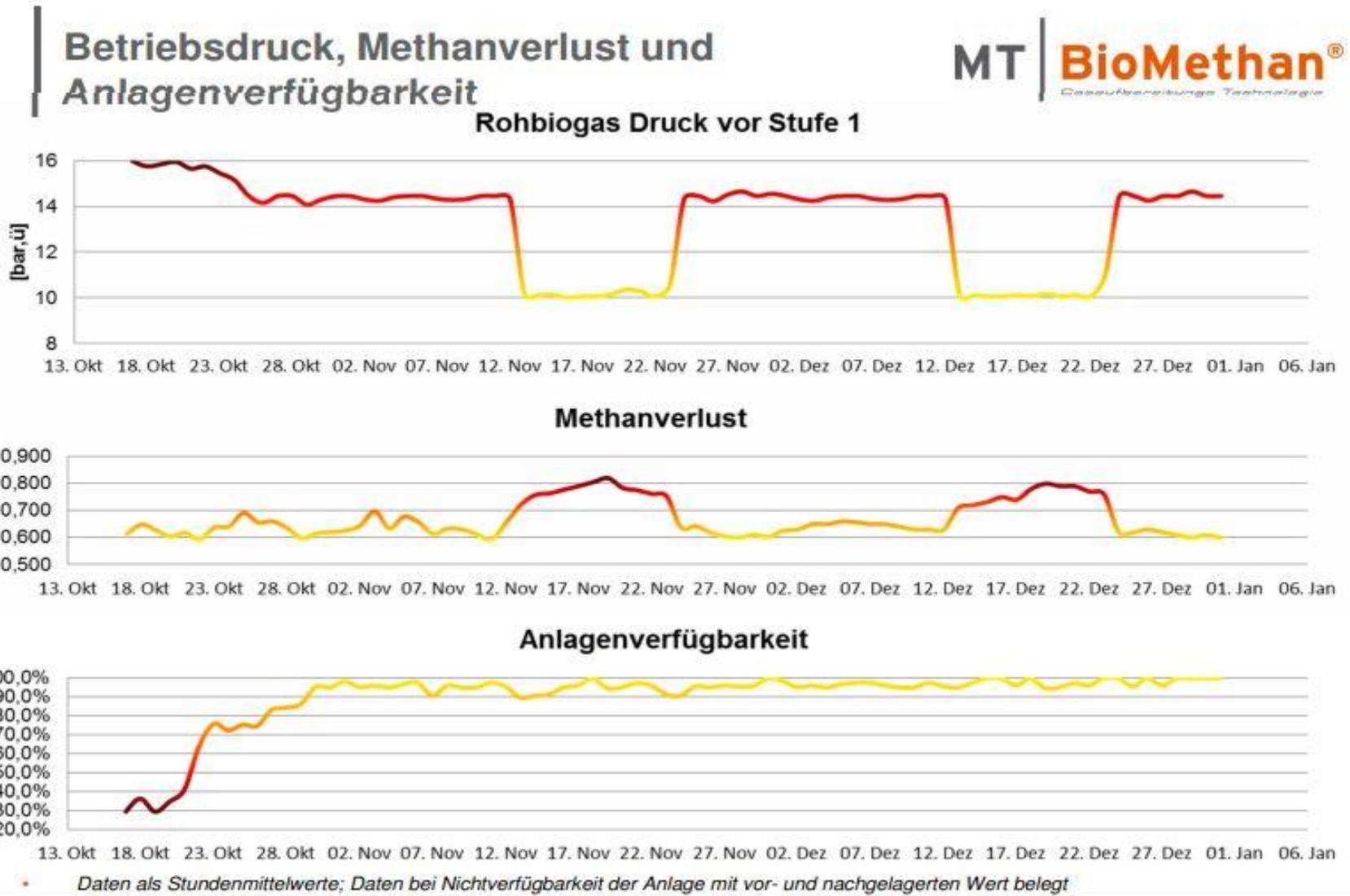


		Okt 12	Nov 12	Dez 12
		Monatsmittel	Monatsmittel	Monatsmittel
<b>Zeven II</b>				
<b>Rohbiogas</b>				
Volumenstrom	Nm <sup>3</sup> /h	149	205	236
CH4	Vol%	52	53,0	53,1
CO2	Vol%	47	46,5	46,5
O2	Vol%	0,1	0,1	0,1
H2S	ppm	120	21,5	21,1
H2	ppm	48	35,1	35,1
<b>Biomethan</b>				
Volumenstrom	Nm <sup>3</sup> /h	77	109	127
CH4	Vol%	96	96,4	96,4
CO2	Vol%	3,2	3,1	3,1
O2	Vol%	0,1	0,0	0,0
H2S	ppm	0,0	0,0	0,0
Methanverlust	%	0,631	0,684	0,676
Eigenstromverbrauch	kWh/Nm <sup>3</sup> Rohbiogas	0,267	0,248	0,246
Betriebsstunden (Anlage bereit – keine Störung)	h/Tag	15,8	22,9	23,4
BGAA technische Verfügbarkeit	%	65,6%	95,4%	97,5%
Rohbiogas Druck vor Stufe 1 (PT210)	barü	15,1	12,9	12,9

ANNEXE 11: Données de fonctionnement du méthaniseur



ANNEXE 12: Données de fonctionnement du méthaniseur



**ANNEXE 13: Données sur les couvertures bâches flottantes MT à gazomètre de biogaz intégré (données utilisées pour les calculs des fuites)**



## Certificat du fabricant

**Fabricant :** MT – Energie GmbH  
**Adresse :** Ludwig-Elsbett-Strasse 1  
 27404 Zeven  
  
 Tél. : 0049 (0) 4281 9845-0  
 Télécopie : 0049 (0) 4281 9845-100

### Couverture à bâches flottantes MT à gazomètre de biogaz intégré

	<b>membrane de stockage de gaz</b>
<b>Matériau :</b>	LDPE
<b>Etanchéité aux gaz :</b>	perméabilité au gaz pour méthane : $\leq 1000 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \text{ d bar}$
<b>Résistance au déchirement :</b>	> 500 N/5 cm
<b>Résistance à la traction :</b>	> 250 N/5 cm
<b>Résistance aux chocs thermiques :</b>	- 30 °C / + 50 °C
<b>Joint :</b>	brides, rail de fixation avec flexible de serrage
<b>Pression de service :</b>	2,0 mbars

	<b>Bâche de protection contre les intempéries</b>
<b>Matériau :</b>	Film tissé en PVC, résistant aux intempéries et aux rayonnements ultraviolets
<b>Poids total :</b>	680 g/m <sup>2</sup>
<b>Résistance au déchirement :</b>	3000/3000 N/5 cm
<b>Résistance à la propagation du déchirement :</b>	300/300 N
<b>Résistance aux chocs thermiques :</b>	-30 °C/+70 °C
<b>Tenue à la combustion conf. DIN 75200:</b>	< 100 mm/min.
<b>Qualité de surface :</b>	autonettoyante

Zeven  
(Lieu :)

31.10.2012  
(Date :)

(Signature :)

Gérant Christoph Martens  
(Nom et fonction)

**ANNEXE 14:** Feuille de calcul Excel pour les différents résultats, formules et calculs (voir fichier Excel)