



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports,
de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral de l'énergie OFEN

Rapport final 17 février 2014

Mini Biogaz

Développement de petites unités de biogaz en agriculture



erep

Traitement et valorisation
de déchets et
d'effluents organiques



Mandant:

Office fédéral de l'énergie OFEN
Programme de recherche xxx
CH-3003 Berne
www.bfe.admin.ch

Mandataire:
EREP SA
Chemin du Coteau 28
1123 Aclens
www.erep.ch

Auteurs:

Toine BAKX, EREP SA, toine.bakx@erep.ch
Sylvain BOÉCHAT, AGRIDEA, sylvain.boechat@agridea.ch
Juliana LEÓN, EREP SA, juliana.leon@erep.ch
Yves MEMBREZ, EREP SA, yves.membrez@erep.ch

Responsable de domaine de l'OFEN: Sandra HERMLE
Chef de programme de l'OFEN: Sandra HERMLE
Numéro du contrat de l'OFEN: SI/500792-01

L'auteur de ce rapport porte seul la responsabilité de son contenu et de ses conclusions.

Sommaire

Abréviations.....	4
Résumé.....	5
Zusammenfassung.....	6
1. Introduction.....	7
2. Identification et définition d'une typologie d'exploitations agricoles représentatives de l'agriculture suisse	8
2.1 Introduction	8
2.2 Paramètres et critères à considérer	8
2.3 Méthodologie	9
2.3.1 Identification des caractéristiques de l'agriculture suisse	9
2.3.2 Répartition des exploitations selon les zones agricoles.....	9
2.3.3 Répartition par classe de grandeur	10
2.3.4 Effectifs moyens par catégorie de bétail	10
2.3.5 Répartition par modes de détention et types de déjection.....	10
2.3.6 Détention des bovins et type de déjections.....	11
2.3.7 Détention des porcs et type de déjections	12
2.3.8 Références concernant la production d'engrais de ferme	13
2.3.9 Production annuelle d'engrais de ferme des bovins par tête	13
2.3.10 Production d'engrais de ferme des porcs par tête	15
2.3.11 Quantités d'eaux usées des exploitations bovines	15
2.3.12 Quantités d'eaux usées des exploitations porcines	16
2.3.13 Identification d'autres substrats agricoles produits sur les exploitations	16
2.4 Résultats globaux	19
2.4.1 Structures et caractéristiques des exploitations agricoles en Suisse	19
2.4.2 Production d'engrais de ferme	20
2.5 Résultats exploitations bovines	21
2.5.1 Effectifs de bétail globaux	21
2.5.2 Détenteurs et effectifs de vaches laitières	22
2.5.3 Variante « Répartition par classe de grandeur et taille des troupeaux»	23
2.5.4 Détenteurs et effectifs des vaches-mères.....	24
2.5.5 Répartition selon les modes de détention et le type d'engrais de ferme produit	25
2.5.6 Production d'eaux usées	25
2.6 Résultats exploitations porcines	26
2.6.1 Effectifs globaux des porcs	26
2.6.2 Détenteurs et effectifs de porcs à l'engrais	26
2.6.3 Détenteurs et effectifs de truies d'élevage	27
2.6.4 Répartition selon les modes de détention et le type d'engrais de ferme produit	28
2.7 Résultats autres substrats issus des exploitations agricoles	28
2.7.1 Répartition des surfaces agricoles	28
2.7.2 Rendements moyens	29
3. Potentiel de production de biogaz.....	30
3.1 Méthodologie	30
3.2 Potentiel global	30
3.3 Exploitations bovines	31
3.3.1 Potentiel global	31
3.3.2 Potentiel global par zone de production.....	33
3.3.3 Potentiel de puissance électrique	35
3.3.4 Puissance électrique et taille moyenne du troupeau	37
3.3.5 Puissance électrique et quantité moyenne traitée	38
3.3.6 Répartition des exploitations productrices de lisier et de fumier.....	38
3.3.7 Variante VL Répartition par classe de grandeur et taille des troupeaux.....	39

3.4 Exploitations porcines	40
3.4.1 Potentiel global	40
3.4.2 Potentiel global par zone de production	41
3.4.3 Potentiel de puissance électrique	44
3.4.4 Puissance CCF et effectifs moyens	46
3.4.5 Puissance CCF et quantité moyenne traitée.....	46
3.4.6 Répartition des exploitations productrices de lisier et de fumier.....	47
4. Identification et description du marché des constructeurs.....	48
4.1 Méthodologie	48
4.2 Aperçu des technologies disponibles	48
4.3 Technologies de petite méthanisation liquide.....	50
4.4 Technologies de petite méthanisation par voie solide.....	57
4.4.1 Installations de type « garage »	57
4.4.2 Installations de méthanisation en bennes mobiles	58
4.4.3 Digesteurs en silo-couloir	59
5. Définition des caractéristiques de petites installations de biogaz adaptées aux exploitations agricoles représentatives.....	60
5.1 Définition des caractéristiques d'une petite installation représentative	60
5.1.1 Définition de la puissance électrique type	60
5.1.2 Définition des types et quantités de matières méthanisables à traiter	61
5.1.3 Définition de la technologie de digestion.....	62
5.1.4 Définition du niveau d'automatisation et de qualité.....	64
5.2 Dimensionnement d'une installation type	64
6. Analyse économique de la faisabilité de petites installations de biogaz, en Suisse.....	66
6.1 Coûts d'investissement.....	66
6.2 Analyse économique	67
7. Conclusions et recommandations	69
7.1 Production d'engrais de ferme.....	69
7.2 Potentiel de production de biogaz	69
7.2.1 Potentiel global	69
7.2.2 Potentiel de puissance électrique des installations.....	69
7.3 Identification du marché des constructeurs	69
7.4 Définition des caractéristiques de petites installations représentatives	70
7.5 Analyse économique de la faisabilité de petites installations.....	70
7.6 Recommandations	72
8. Bibliographie.....	73
Annexe 1 : Liste des fournisseurs de petites installations de biogaz en Europe	74
Annexe 2 : Analyse Economique – détails et hypothèses.....	79
Annexe 3 : Variante sans autres substrats agricoles.....	82

Abréviations

CCF	Couplage-Chaleur-Force / cogénération
CI	Cultures intermédiaires
CS	Cosubstrat
EE	Étable-entravée (stabulation)
F	Fumier
L	Lisier
MB	Matières brutes
MP	Menue paille
MS	Matières sèches
P	Purin
PB	Potentiel de biogaz
PE	Porcs à l'engrais
SL	Stabulation libre
SLCP	Stabulation libre avec couches profondes
SLL	Stabulation libre avec logettes
TP	Truies et porcelets
UGB	Unité gros bétail
VL	Vache-laitière
VM	Vache-mère
ZC	Zone des collines
ZM	Zone de montagne
ZP	Zone de plaine

Résumé

Plusieurs études ont été réalisées afin d'évaluer le potentiel de production de biogaz en agriculture.

Elles montrent qu'actuellement les concepts d'installations de biogaz agricole proposés ne permettent de valoriser qu'une part très minoritaire du potentiel énergétique des engrais de ferme disponibles en Suisse.

Si les résultats obtenus fournissent des indications sur les quantités d'énergie disponibles elles n'en restent pas moins des estimations qui ne définissent pas les conditions de mise en œuvre d'installations puisqu'elles ne tiennent pas compte de la diversité et des spécificités des structures d'exploitations agricoles rencontrées en Suisse.

Le recours aux substrats propres aux exploitations agricoles permettrait une orientation vers un système autonome et indépendant du marché concurrentiel des cosubstrats.

Ceux-ci pourraient être valorisés dans de petites installations de biogaz.

Les buts poursuivis par la présente étude sont de définir le marché pour ces petites installations de biogaz en Suisse, d'identifier l'offre actuelle des constructeurs européens pour de telles unités et d'analyser l'adéquation de ces systèmes à la situation helvétique.

Le potentiel de développement du biogaz à l'échelle d'une exploitation agricole, concerne essentiellement des installations de petite capacité, dont la grande majorité se situerait à une production électrique entre 1 et 6 kW_{él}.

Au vu de la situation du marché des installations proposées par les différents constructeurs suisses et européens, il ressort qu'il n'existe pas encore de retour d'expérience solide pour des installations répondant aux critères et aux caractéristiques de la majorité des exploitations agricoles suisses.

Suite à ce constat, il a été choisi de combiner les substrats agricoles de plusieurs exploitations afin de proposer une installation d'une taille plus pertinente fixée à 25 kW_{él}.

Le prix de revient de la production d'électricité pour lequel un équilibre financier pourrait être atteint se situe à une valeur de 64.6 ct. / kWh_{él}, soit 33% au-dessus du tarif RPC maximal actuel.

C'est le résultat du choix consistant à n'utiliser que les substrats agricoles propres à l'exploitation dans des petites installations de biogaz. Cette option permettrait de développer le potentiel identifié de production de biogaz de 4'409 GWh par an.

Zusammenfassung

Mehrere Studien haben das Biogaspotenzial landwirtschaftlicher Biomasse abgeschätzt. Sie zeigen, dass die derzeitigen Konzepte landwirtschaftliche Biogasanlagen nur einen sehr geringen Teil des Hofdüngerenergiepotenzials der Schweiz verwerten.

Die Ergebnisse geben Auskünfte über die gesamte verfügbare Energiemenge, aber es bleiben Schätzungen, die nicht die ganze Vielfaltigkeit und alle Spezifitäten der landwirtschaftlichen Betriebe in der Schweiz berücksichtigen.

Die Verwendung betriebseigener Substrate in Kleinbiogasanlagen ermöglicht eine Orientierung in Richtung autonome Systeme, welche unabhängig sind vom Konkurrenzmarkt der Co-Substrate.

Die Ziele der vorliegenden Studie sind die Definition des Marktes für Kleinbiogasanlagen in der Schweiz, die Beschreibung des aktuellen Angebots europäischen Anlagenhersteller und eine Analyse der Eignung der angebotenen Systeme für den Schweizerischen Markt.

Das Biogasentwicklungspotenzial auf landwirtschaftlichen Betrieben betrifft vor allem sehr kleine Anlagekapazitäten, welche überwiegend elektrische Leistungen zwischen 1 und 6 kW erbringen.

Angesichts der von verschiedenen schweizerischen und europäischen Herstellern vorgeschlagenen Installationen, ist es offensichtlich, dass es noch keine grosse Erfahrung gibt für Installationen, welche die Kriterien und Eigenschaften der schweizerischen Landwirtschaftsbetriebe berücksichtigen.

Es wurde deshalb entschieden landwirtschaftliche Substrate mehrerer Betriebe zu kombinieren, um damit eine Biogasanlage mit einer entsprechenden elektrischen Leistung von 25 kW zu entwickeln.

Die Stromentstehungskosten, bei welcher die Rentabilitätsgrenze erreicht wird, befinden sich bei einem Wert von 64.6 Rappen / kWh, also 33% über dem aktuellen maximalen KEV Tarif.

Die Auswirkung diese Entscheidung, nur betriebseigene Substrate aus kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen zu verwerten, würde die Verwertung eines identifizierbaren Biogaspotenzials von 4'409 GWh pro Jahr erlauben.

1. Introduction

Le potentiel des engrais de ferme (lisiers, purins et fumiers) en Suisse est estimé à environ 21'557'000 tonnes par an.

Les pronostics de développement de la production de biogaz en agriculture, à l'horizon 2030 font état de 300 nouvelles installations dont l'alimentation mobiliserait environ 1'000'000 tonnes d'engrais de ferme ainsi que des coproduits, pour des puissances électriques comprises entre 100 et 300 kW_{el} voire plus (Nova Energie, 2010).

A l'évidence, cette perspective et les concepts d'installations de biogaz agricole ne permettront de valoriser qu'une part très minoritaire du potentiel énergétique des engrais de ferme disponibles en Suisse.

Une analyse de marché réalisée en 2011 (Chopy, 2011) (Boéchat, 2011) a d'autre part montré que 46% des exploitations agricoles détenant des vaches, en Suisse Romande, détiennent en moyenne 25 animaux par exploitation et qu'un gisement de fumier et de purin d'environ 900 tonnes par exploitation et par an peut être considéré pour développer des unités de biogaz de petite capacité.

Les études réalisées jusqu'à présent ont principalement porté sur la définition du potentiel de production de biogaz de l'agriculture en se basant essentiellement sur les effectifs de bétail recensés. Si les résultats obtenus fournissent des indications sur les quantités d'énergie elles n'en restent pas moins des estimations qui n'influencent pas la mise en œuvre d'installations dans la pratique car elles ne tiennent pas compte de la diversité des structures d'exploitations agricoles rencontrées en Suisse.

Parallèlement, le marché des installations de biogaz agricole a évolué au cours de ces dernières années et s'oriente vers de nouvelles unités dites « de petite méthanisation ». Depuis l'apparition de ces installations, aucune étude visant à déterminer les conditions et les possibilités d'implantation n'a encore été effectuée en Suisse. La réalisation d'une étude de marché visant à identifier les installations potentiellement « réalisables » en Suisse apparaît comme étant opportune et devrait contribuer à favoriser le développement et la concrétisation de nouvelles unités de production d'énergies renouvelables en agriculture.

De plus, l'expérience a montré que les projets de biogaz agricole sont soumis à plusieurs difficultés notamment pour l'approvisionnement en cosubstrats externes à l'agriculture et aussi pour répondre à certaines prescriptions légales (aménagement du territoire, notamment). Dès lors le développement d'unité de petite méthanisation devrait permettre de palier à ces difficultés tout en permettant de valoriser le potentiel énergétique des substrats agricoles propres à l'exploitation agricole.

Un aspect important pour le développement des petites installations de biogaz serait l'indépendance par rapport aux cosubstrats à fort potentiel méthanogène, freinant, à cause d'une concurrence de plus en plus accrue, déjà des projets à se développer.

Pouvoir recourir aux substrats propres aux exploitations agricoles permettrait une orientation vers un système autonome assurant la disponibilité des substrats à long terme.

Les buts poursuivis par le projet sont de définir le marché pour de petites installations de biogaz en Suisse à l'échelle de l'exploitation agricole en recourant aux propres substrats agricoles, d'identifier l'offre actuelle des constructeurs européens pour de telles unités et d'analyser l'adéquation de ces systèmes au marché helvétique.

2. Identification et définition d'une typologie d'exploitations agricoles représentatives de l'agriculture suisse

2.1 Introduction

Les études réalisées jusqu'à présent sur le potentiel de la production de biogaz agricole en Suisse, se basent pour la plupart sur le gisement global respectivement cumulé des différents substrats disponibles dans l'agriculture à l'échelon national.

Si ce genre de recensement permet effectivement de fournir une estimation de production, il reste cependant très aléatoire et insuffisant pour déterminer les critères relatifs au type et à la taille d'installations de biogaz à prévoir pour valoriser les substrats identifiés. En effet, l'hétérogénéité, les modes de production, les types de détention, la gestion des déjections animales et la situation des exploitations agricoles en Suisse, sont autant de facteurs à considérer pour définir les conditions de réalisation d'installations de biogaz agricoles.

Le présent chapitre vise, sur la base des statistiques disponibles et des références bibliographiques, à mettre en évidence une représentativité des exploitations agricoles de Suisse dans l'optique de définir les caractéristiques auxquelles devront répondre les installations de biogaz potentiellement réalisables dans la perspective d'une valorisation des substrats agricoles.

2.2 Paramètres et critères à considérer

Afin d'obtenir un degré de répartition des exploitations agricoles de Suisse suffisamment détaillé en vue d'évaluer la part de substrats disponibles pour la production de biogaz, les critères suivants ont été retenus et étudiés:

- Répartition des exploitations selon les zones de production (zones de plaine, de colline et de montagne)
- Structure et taille des exploitations
- Effectifs moyens par catégorie de bétail (bovins et porcs)
- Répartition vaches laitières et vaches mères
- Répartition par mode de détention (stabulations entravées, stabulations libres)
- Types de déjections (production de lisier, purin-fumier, fumier)
- Durée de séjour du bétail à l'étable (pâturage, estivage)
- Estimation des quantités d'engrais de ferme produites
- Estimation des quantités d'eaux usées déversées dans les fosses à purin ou lisier
- Identification d'autres substrats agricoles potentiellement disponibles sur les exploitations

Les références utilisées pour définir ces différents paramètres sont issues de plusieurs sources dont notamment les recensements de l'Office Fédéral de la Statistique (OFS) et les résultats d'autres projets répondant aux besoins de la présente étude. Les détails sur les données et la méthodologie utilisées sont fournis dans le développement des paragraphes ci-dessous.

La délimitation et la subdivision de ces régions sont effectuées sur la base de critères tels que : les conditions climatiques, les voies de communication et la configuration du terrain.

Les recensements effectués par l'OFS permettant de tenir compte de ce paramètre, un 1^{er} niveau de répartition des exploitations agricoles est ainsi obtenu.

Il est effectivement reconnu, que la répartition selon ces zones permet d'établir une distinction entre structures d'exploitation, les exploitations de plaine étant généralement plus grandes que celles de montagne.

2.3.3 Répartition par classe de grandeur

Les données recensées par l'OFS sont également disponibles en fonction des catégories de surface auxquelles appartiennent les exploitations agricoles. 13 catégories sont ainsi identifiables selon les groupes suivants :

Classes de grandeur

< 1 ha
1 ha – 3 ha
3 ha – 5 ha
5 ha -10 ha
10 ha – 15 ha
15 ha – 20 ha
20 ha – 25 ha
25 ha – 30 ha
30 ha – 40 ha
40 ha – 50 ha
50 ha – 70 ha
70 ha – 100 ha
> 100 ha

La superposition de la répartition par zones agricoles en corrélation avec les classes de grandeur, permet ainsi d'obtenir une ventilation des exploitations agricoles avec un niveau de détail satisfaisant concernant leurs principales caractéristiques et les références statistiques (effectifs de bétail, surface, etc.) à exploiter dans cette étude.

2.3.4 Effectifs moyens par catégorie de bétail

L'évaluation de la production de biogaz par exploitation nécessite de connaître les effectifs moyens de bétail en vue de définir les quantités de déjections produites. Ces références ont pu être établies à partir des données de l'OFS, ventilées selon la clé de répartition décrite ci-dessus. La corrélation des effectifs de bétail avec le nombre de détenteurs permet de définir les effectifs moyens par catégorie de bétail. Ces références ont ainsi pu être valorisées en vue de définir les détenteurs et les effectifs de bétail, les surfaces disponibles et autres critères utiles à la présente étude. Les détails sont présentés au chapitre « Résultats ».

A noter que ces informations sont uniquement disponibles par catégories de bétail séparées (bovins et porcins) présentes sur les exploitations agricoles. Il n'a pas été possible d'obtenir des données croisées (bovins et porcins) par exploitation.

En raison de leur faible représentativité, les volailles n'ont pas été intégrées dans cette étude.

2.3.5 Répartition par modes de détention et types de déjection

La production d'engrais de ferme constitue l'élément principal nécessaire à l'estimation de la production de biogaz. Si les quantités produites dépendent dans un premier temps des effectifs de bétail présent sur l'exploitation, il est également nécessaire de définir le mode de détention du bétail afin d'identifier le type de déjections produites. En effet, la distinction entre la part d'engrais de ferme solides et liquides produite (respectivement fumier et lisier)

est nécessaire car leur potentiel méthanogène diffère. La répartition des exploitations en fonction du type d'engrais de ferme produit est également importante puisqu'elle influencera par la suite le type d'installation de biogaz à définir en fonction notamment de la teneur en matière sèche des substrats.

2.3.6 Détention des bovins et type de déjections

A l'heure actuelle deux catégories de stabulation se distinguent en Suisse :

- Les stabulations entravées (étable entravé (EE))
- Les stabulations libres, qui se divisent en deux groupes
 - o Stabulation libre en logette (SLL)
 - o Stabulation libre en couche profonde (SLCP)



Figure 2-2 : Mode de détention du bétail bovin

Selon le type de stabulation et les modes de détention, on distingue 3 grandes catégories de production d'engrais de ferme :

- Lisier seul
- Purin et fumier
- Fumier uniquement



Figure 2-3 : Les différentes formes d'engrais de ferme

Le tableau suivant présent par type de stabulation les types de déjections produits :

Tableau 2-2 : Types de stabulation et types d'engrais correspondants

Type de stabulation	Étable entravée		Stabulation libre en logette		Stabulation libre en couche profonde
Types d'engrais de ferme	Lisier seul	Purin et fumier	Lisier seul	Purin et fumier	Purin et fumier

Au sein même de ces catégories, des distinctions peuvent également avoir lieu. Il n'est en effet pas rare que le cheptel d'une exploitation soit détenu selon des systèmes de stabulation différents (par. exemple, production de lisier pour les vaches laitières et production de fumier pour le jeune bétail). Ces cas de figures n'ont pas été retenus dans la présente étude, en raison des faibles quantités concernées. Il ressort en effet que l'influence sur la production de biogaz est minime.

Parmi les sources disponibles pour définir le type de déjections produites 2 références ont été identifiées :

- Le relevé complémentaire au recensement fédéral de 2010 des entreprises agricoles de l'OFS (OFS, 2010)
- Les références ainsi que la méthodologie utilisée pour la réalisation du rapport « Émissions d'ammoniac en Suisse de 1990 à 2010 et prévisions à 2020 » dans le cadre du projet Agrammon. (HAFL, 2013)

Le relevé complémentaire au recensement fédéral des entreprises agricoles est une enquête par échantillonnage à laquelle ont participé environ 17'000 exploitations en 2010 (sur un total de quelques 60'000). Les différentes variables récoltées concernent notamment des informations générales sur l'exploitation, les activités de diversification, la mécanisation, les systèmes et installations d'étables, les engrais de ferme, etc. Les valeurs de l'échantillon sont extrapolées à l'échelon suisse ce qui induit une marge d'erreur qui est signalée dans les résultats officiels. Une exploitation plus détaillée de ces données (croisement pour l'établissement de ratio et/ou de proportion) implique une augmentation de la marge d'erreur et diminue la fiabilité des résultats.

Pour cette raison, la méthodologie et les références obtenues dans le cadre du projet Agrammon, ont été retenues en vue de définir la répartition du bétail selon les modes de détention et le type de déjection.

Selon le rapport de l'HAFL, « Emissions d'ammoniac en Suisse de 1990 à 2010 et prévisions jusqu'en 2020 », la répartition du bétail bovin (vaches laitières et vaches mères) est la suivante :

Tableau 2-3 : Répartition des vaches laitières selon le mode détention

Répartition en % des modes de stabulation	%
Total stabulations entravées	52.5
Stabulation entravée avec production de lisier seul	17.8
Stabulation entravée avec production de purin et fumier	34.7
Total stabulations libres	47.5
Stabulation libre avec production de lisier seul	35.5
Stabulation libre en logettes avec production de purin+ fumier	11.2
Stabulation libre en couche profonde	0.8

Tableau 2-4 : Répartition des vaches-mères selon le mode détention

Répartition en % des modes de stabulation	%
Total stabulations entravées	15
Stabulation Entravée avec production de lisier seul	3
Stabulation entravée avec production de purin et fumier	12
Total stabulations libres	85
Stabulation libre avec production de lisier seul	23
Stabulation libre en logettes avec production de purin+ fumier	55
Stabulation libre en couche profonde	7

2.3.7 Détention des porcs et type de déjections

Pour la répartition des modes de détentions des porcs, deux catégories ont été retenues :

- La détention en étable conventionnelle (avec production de lisier seul)
- La détention en étable pour label (avec production de purin et de fumier)

Selon l'étude de l'HAFL 60% des porcs sont détenus en étables conventionnelles et 40% en étables pour label.

2.3.8 Références concernant la production d'engrais de ferme

Le mode de détention influence le type de déjection produite. Selon les situations une exploitation optera pour la production de lisier, de purin et fumier ou de fumier uniquement. Les quantités de déjections (lisier, fumier) ainsi que des eaux résiduelles (lavage des installations de traite, rinçage/curage des étables) sont définies à partir des références agronomiques fournies par le DBF (Donnée de base pour la fumure) (DBF-GCH, 2009) et les adaptations de celles-ci fournies par le module « Constructions rurales et protection de l'environnement » (OFAG-OFEV, 2011) issu de l'aide à l'exécution pour la protection de l'environnement dans l'agriculture.

Ces valeurs sont fournies par catégorie d'animaux en fonction du mode de stabulation et font la distinction entre la part de lisier et la part de fumier. Les productions sont présentées par tête de bétail et par an pour une présence de 100% du temps à l'étable.

On notera cependant que les quantités produites données par ces références ne font pas la distinction entre étables entravées et étables en stabulation libre. Par exemple une vache en stabulation entravée produira autant de lisier qu'une vache en stabulation libre. Les différences de quantités entre les stabulations libres et entravées concerneront principalement les eaux usées.

2.3.9 Production annuelle d'engrais de ferme des bovins par tête

L'estimation des quantités d'engrais de ferme produites doit tenir compte de la durée du bétail à l'étable. C'est lorsque le bétail est présent à l'étable que les engrais de ferme pourraient être récupérés pour être digérés dans l'installation de biogaz.

Il faut donc déduire les périodes pendant lesquelles le bétail n'est pas présent à l'étable, à savoir lors du pâturage et de l'estivage, pour pouvoir calculer la production d'engrais récupérable par tête de bétail et par an.

Durée de pâture

Sur la base des données statistiques de l'OFS, une estimation de la fréquence et de la durée de pâture a pu être réalisée. En moyenne plus de 86% des détenteurs de bovins pratiquent la pâture. Par mesure de simplification ce paramètre a donc été appliqué à l'ensemble des exploitations et des effectifs de bétails bovins.

La durée de pâture a été définie selon les références suivantes :

Tableau 2-5 : Durée annuelle de la pâture des bovins

Catégories de bétail	Zones de plaine et des collines		Zones de montagne 1 à 4	
	Période (mois par année)	Durée (par jour)	Période (mois par année)	Durée (par jour)
Vaches laitières	6 mois	12 h	4	12h
Vaches allaitantes	6 mois	12 h	4	12 h
Bovin d'élevage <1an	-	-	-	-
Bovin d'élevage 1 à 2 ans	6 mois	12 h	4	12 h
Bovine d'élevage > 2 ans	6 mois	12h	4	12 h

Estivage

Toujours selon les statistiques de l'OFS, la part de bétail bovins estivés est de :

- 1% en zone de plaine et des collines
- 5% en zone de montagne 1
- 10% en zone de montagne 2
- 21% en zone de montagne 3
- 23% en zone de montagne 4

Ce paramètre n'a pas été retenu pour les zones de plaine et des collines mais a été appliqué au décompte de la production d'engrais de ferme des zones de montagne.

Production annuelle d'engrais de ferme selon les zones agricoles

Sur la base des références du DBF et des informations ci-dessus, la production annuelle par catégorie d'animaux et selon le mode de détention, est estimée à partir des données suivantes pour les différentes zones de production:

Tableau 2-6 : Production d'engrais de ferme des zones de plaine et des collines

Catégories de bétail	Production annuelle (selon type de déjection)				
	Lisier seul [m ³]	Purin et fumier		Couche profonde	
		Purin [m ³]	Fumier [t]	Fumier [t]	Purin [m ³]
Vaches laitières	17.3	8.6	6.7	11.7	5.0
Vaches allaitantes	11.6	6.0	4.5	9.4	4.0
Bovin d'élevage <1an	5.5	2.6	2.0	3.6	1.4
Bovin d'élevage 1 à 2 ans	6.0	3.0	2.3	4.7	2.0
Bovin d'élevage > 2 ans	8.3	4.1	3.0	7.0	3.0
Veau allaité	-	1.4	1.1	2.1	0.9

Tableau 2-7 : Production d'engrais de ferme de la zone de montagne 1

Catégories de bétail	Production annuelle (selon type de déjection)				
	Lisier seul [m ³]	Purin et fumier		Couche profonde	
		Purin [m ³]	Fumier [t]	Fumier [t]	Purin [m ³]
Vaches laitières	18.8	9.4	7.3	12.7	4.9
Vaches allaitantes	12.6	6.6	4.9	10.2	3.9
Bovin d'élevage <1an	5.5	2.6	2.0	3.6	1.4
Bovin d'élevage 1 à 2 ans	6.6	3.2	2.5	5.1	2.0
Bovin d'élevage > 2 ans	9.0	4.5	3.2	7.6	2.9
Veau allaité	-	1.5	1.2	2.3	0.9

Tableau 2-8 : Production d'engrais de ferme de la zone de montagne 2

Catégories de bétail	Production annuelle (selon type de déjection)				
	Lisier seul [m ³]	Purin et fumier		Couche profonde	
		Purin [m ³]	Fumier [t]	Fumier [t]	Purin [m ³]
Vaches laitières	18.4	9.2	7.1	12.5	4.8
Vaches allaitantes	12.4	6.4	4.8	10.0	3.8
Bovin d'élevage <1an	5.5	2.6	2.0	3.6	1.4
Bovin d'élevage 1 à 2 ans	6.4	3.2	2.4	5.0	1.9
Bovin d'élevage > 2 ans	8.8	4.4	3.2	7.5	2.9
Veau allaité	-	1.4	1.2	2.2	0.9

Tableau 2-9 : Production d'engrais de ferme de la zone de montagne 3

Catégories de bétail	Production annuelle (selon type de déjection)				
	Lisier seul [m ³]	Purin et fumier		Couche profonde	
		Purin [m ³]	Fumier [t]	Fumier [t]	Purin [m ³]
Vaches laitières	17.5	8.8	6.7	11.9	4.6
Vaches allaitantes	11.8	6.1	4.6	9.5	3.6
Bovin d'élevage <1an	5.5	2.6	2.0	3.6	1.4
Bovin d'élevage 1 à 2 ans	6.1	3.0	2.3	4.7	1.8
Bovin d'élevage > 2 ans	8.4	4.2	3.0	7.1	2.7
Veau allaité	-	1.4	1.1	2.1	0.8

Tableau 2-10 : Production d'engrais de ferme de la zone de montagne 4

Catégories de bétail	Production annuelle (selon type de déjection)				
	Lisier seul [m ³]	Purin et fumier Purin [m ³]	Fumier [t]	Couche profonde Fumier [t]	Purin [m ³]
Vaches laitières	17.4	8.7	6.7	11.8	4.5
Vaches allaitantes	11.7	6.1	4.5	9.4	3.6
Bovin d'élevage <1an	5.5	2.6	2.0	3.6	1.4
Bovin d'élevage 1 à 2 ans	6.1	3.0	2.3	4.7	1.8
Bovin d'élevage > 2 ans	8.3	4.2	3.0	7.1	2.7
Veau allaité	-	1.4	1.1	2.1	0.8

Ces valeurs serviront de base à la détermination des quantités de déjections produites pour les effectifs de bétail identifiés selon leur mode de détention.

2.3.10 Production d'engrais de ferme des porcs par tête

Elle a été définie à partir des données du DBF en tenant compte de deux catégories de production, à savoir « lisier seul » et « fumier +purin ».

Tableau 2-11 : Production porcine d'engrais de ferme

Catégories de bétail	Production annuelle (selon type de déjection)		
	Lisier seul [m ³]	Purin et fumier Purin [m ³]	Fumier [t]
Porcs à l'engrais	1.6	1.2	1.2
Truies allaitantes	7.2	2.4	2.4
Truies non allaitantes	3.6	1.2	1.2
Porcelets sevrés	0.8	0.24	0.36

2.3.11 Quantités d'eaux usées des exploitations bovines

En parallèle à la production des déjections, une certaine quantité d'eaux usées est également « déversée » dans les ouvrages de stockage et vient s'ajouter à la partie liquide des engrais de ferme. Ces eaux proviennent notamment du nettoyage des étables, des équipements et installations de traite. Les références nécessaires à leur estimation sont également fournies par le DBF. Pour les eaux de nettoyage des étables, les données sont le plus souvent exprimées en m³ par UGB et par année. Pour les eaux de nettoyage des installations de traite, elles s'expriment en m³/poste de traite et sont établies au moyen de formules spécifiques. Si ces quantités n'influencent pas directement le potentiel méthanogène identifié, elles doivent néanmoins être prises en considérations pour la détermination des volumes nécessaires au dimensionnement d'une installation de biogaz.

Tableau 2-12 : Références eaux usées

Types d'eaux usées	m ³ /année
Eaux pour le nettoyage de l'étable (par UGB)	7
Eaux de nettoyage	
Chambre à lait	12
Citerne de refroidissement	12
Installation de traite	
Traite au pot traite direct	70
Salle traite	250

Pour les eaux de nettoyage des équipements et des installations de traite des volumes ont été définis « forfaitairement » sur la base des pratiques cantonales. Il n'était en effet pas possible de distinguer ces volumes selon les différentes tailles des salles de traite ou encore selon les capacités des citernes de refroidissement. Pour les systèmes de traites une

distinction a pu être établie entre la traite « au pot ou traite directe » attribuées aux étables entravées et les « salles de traite » plus gourmandes en volumes d'eaux et spécifiques aux stabulations libres.

Selon les effectifs moyens définis au niveau suisse la part totale d'eaux usées est estimée à 273 m³ pour les exploitations avec traite au pot ou traite directe et à 453 m³ pour les exploitations avec salle de traite ou robot.

2.3.12 Quantités d'eaux usées des exploitations porcines

La part d'eaux usées nécessaires au nettoyage des porcheries est estimée quant à elle à 0.5 m³ par place dans l'étable.

2.3.13 Identification d'autres substrats agricoles produits sur les exploitations

Au-delà des engrais de ferme, d'autres substrats sont potentiellement disponibles sur les exploitations agricoles. Selon les circonstances, leur apport peut contribuer à augmenter la production de biogaz. Il ne faut cependant pas sous-estimer les coûts liés à leur exploitation (récolte et stockage), qui rendent parfois leur valorisation inintéressante.

Parmi les substrats identifiés à ce jour, on peut citer :

- La récolte des cultures intermédiaires (cultures mises en place entre deux cultures principales en vue de conserver les sols)
- Les feuilles de betteraves
- Les feuilles de pommes de terre
- Les coupes de nettoyage et les fauches de refus de pâturages
- La menue – paille

Substrats retenus

Selon les retours d'expérience de la pratique et des conditions d'exploitations connues, seuls deux catégories de substrats ont été retenus :

- La récolte des cultures intermédiaires
Dans le cadre des exigences liées aux « Prestations écologiques requises » qui font partie des conditions d'octroi des paiements directs, l'exploitant agricole doit entre deux cultures principales assurer la couverture de ses terres assolées au moyen d'une couverture désignée par culture intermédiaire (OPD)
- La menue-paille
Lors de la moisson des céréales, la récolte des graines donne lieu au dépôt de paille (généralement destinée au paillage des étables) et de menue-paille (brindille de paille, grains cassés, barde, etc) qui reste le plus souvent sur le champ. La récupération de cette menue paille présente des avantages agronomiques certains notamment pour la suite de l'exploitation de la parcelle. Plusieurs projets de récupération ont été mis en œuvre en Suisse. L'apport de cette matière dans les installations de biogaz fait partie des filières de valorisation possibles.

Les déchets agricoles tels que les feuilles de betteraves et de pommes de terre n'ont pas été retenus, car les pratiques de récoltes actuelles ne permettent pas ou du moins ne favorisent pas une récupération de ces matières (qui sont le plus souvent broyées et laissées sur champs). De plus dans l'optique d'une récupération, les risques de « salissures » et d'une présence d'éléments indésirables (terre, cailloux, etc.) sont trop importants par rapport aux attentes.

Les coupes de nettoyage et de refus n'ont également pas été prises en comptes en raison de leur faible rendement par rapport aux coûts de ramassage et de conditionnement.

Estimation des surfaces

La part des substrats potentiellement exploitable a également été définie sur la base des données de l'Office fédéral de la statistique.

Pour les cultures intermédiaires :

L'estimation a été effectuée pour 3 zones de production, à savoir la zone de plaine, la zone de colline et la zone de montagne 1 (les grandes cultures étant très peu présentes en zone de montagnes 2, 3 et 4).

Pour ces trois zones, un pourcentage de surface de culture intermédiaire a été défini à partir du rapport entre la surface totale et la surface de culture intermédiaire effectivement recensée par l'OFS.

Ce ratio a ensuite été appliqué à la surface moyenne de chaque catégorie d'exploitations.

Le relevé complémentaire du recensement agricole réalisé par l'OFS, fait état d'une surface totale 89'869 ha identifiés comme cultures intermédiaires en 2010. Cette valeur est fournie avec une marge d'erreur de plus ou moins 4%. Rapportée à la surface moyenne des exploitations elle nous permet d'estimer la surface moyenne de cultures intermédiaires par catégorie de surface.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2-13 : Surface moyenne de culture intermédiaire par zone et catégorie d'exploitation

Classes de grandeur	Surface moyenne de culture intermédiaire par zone et catégorie d'exploitation		
	ZP	ZC	ZM 1
< 1ha	0.1	0.0	0.0
1 ha - 3 ha	0.3	0.1	0.0
3 ha - 5 ha	0.6	0.2	0.1
5 ha - 10 ha	1.2	0.3	0.2
10 ha - 15 ha	2.0	0.6	0.2
15 ha - 20 ha	2.8	0.8	0.3
20 ha - 25 ha	3.6	1.0	0.4
25 ha - 30 ha	4.4	1.3	0.5
30 ha - 40 ha	5.5	1.6	0.7
40 ha - 50 ha	7.2	2.0	0.9
50 ha - 70 ha	9.4	2.7	1.2
70 ha - 100 ha	13.1	3.6	1.6
>100 ha	25.2	5.5	2.8

Les références concernant les rendements et les coûts liés à leur valorisation découlent d'études et d'essais réalisés par l'Agroscope ART, l'HAFL Zollikofen et l'Institut agricole de Grangeneuve.

Etant donné la grande diversité de variétés pouvant être mises en place en culture intermédiaire, les différences de rendement constatées en fonction de la situation géographique, de la météo, de la période d'implantation, des variétés choisies, il n'a pas été possible d'élaborer des scénarios pour chaque variante. Un rendement moyen issu des résultats d'études précédemment réalisées a été défini.

Le rendement moyen retenu se situe à 15 t par hectare avec un taux de matière sèche de 20%. Soit un rendement de 3 t de MS par ha.

Pour la menue-paille :

Les quantités de menue-paille ont été estimées à partir des données statistiques de l'OFS concernant les surfaces de céréales panifiables et de céréales fourragères. Une surface moyenne a été définie pour chaque catégorie d'exploitation. Considérant que le rendement en menue-paille se situe à 1 tonne par ha, les quantités produites sont les suivantes :

Tableau 2-14 : Surface moyenne de céréales par zone et catégorie d'exploitation

Classe de grandeurs	Surface moyenne de céréales par zone et catégorie d'exploitation					
	ZP	ZC	ZM 1	ZM 2	ZM 3	ZM 4
< 1ha	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1 ha - 3 ha	0.8	0.7	0.2	0.3	0.0	0.0
3 ha - 5 ha	1.0	0.8	0.4	0.3	0.1	0.0
5 ha - 10 ha	1.5	1.2	0.9	0.6	0.5	0.0
10 ha - 15 ha	2.1	1.7	1.2	0.9	0.7	0.2
15 ha - 20 ha	2.7	2.1	1.7	1.1	0.8	0.0
20 ha - 25 ha	3.3	2.7	2.1	1.4	0.6	0.3
25 ha - 30 ha	4.0	3.1	2.7	1.9	1.3	0.0
30 ha - 40 ha	5.1	3.9	3.8	2.1	0.9	0.0
40 ha - 50 ha	6.6	5.1	5.0	2.6	1.1	0.7
50 ha - 70 ha	8.6	7.3	5.3	3.3	1.4	0.4
70 ha - 100 ha	12.6	11.9	6.4	6.6	1.5	0.0
>100 ha	22.2	18.0	14.4	6.7	0.0	1.5

2.4 Résultats globaux

Les paragraphes ci-dessous présentent les résultats obtenus suite à l'application et la prise en considération des paramètres décrits dans le chapitre « Méthodologie ». Le présent chapitre se compose d'une brève présentation des structures des exploitations suisses et des résultats par catégorie d'animaux (vaches laitières, vaches mères, et porcs), selon la clef de répartition retenue.

Concernant la répartition du bétail et la production d'engrais de ferme, les données disponibles ont permis d'établir une répartition pour les exploitations détentrices de bovins et porcins, définies dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 2-15 : Répartition des exploitations détentrices de bétail bovin

	Catégories d'animaux	Mode de détention	Type de déjection
Nombre d'exploitations	Vaches laitière	Stabulation entravée	Lisier seul
			Lisier et fumier
		Vaches mères	Stabulation libre
	Lisier et fumier		
	Stabulation entravée		Couches profondes
		Stabulation libre	Lisier seul
Lisier et fumier			
Couches profondes			

Tableau 2-16 : Répartition des exploitations détentrices de porcs

	Catégories d'animaux	Mode de détention	Type de déjection
Nombre d'exploitations	Porcs à l'engrais	Etable conventionnelle	Lisier seul
			Lisier et fumier
		Truies et porcelets	Etable pour label
	Lisier et fumier		
	Etable conventionnelle		Lisier seul
		Etable pour label	Lisier et fumier
	Lisier seul		
	Lisier et fumier		

Concernant les surfaces agricoles, bien que les références statistiques aient permis de répartir les exploitations par catégories de surfaces, seules les données concernant les possibilités de valorisation des autres substrats identifiés (couverts végétaux et menue-paille) ont été exploitées.

2.4.1 Structures et caractéristiques des exploitations agricoles en Suisse

En 2011, l'Office Fédéral de la Statistique recense **57'617 exploitations agricoles** en Suisse dont 40'613 à titre principal.

Selon les zones de production, elles se répartissent de la manière suivante :

Tableau 2-17 : Répartition des exploitations agricoles selon les zones de production

	Zone de plaine	Zone des collines	Zone de montagne I	Zone de montagne II	Zone de montagne III	Zone de montagne IV
Nombre d'exploitations	25'575	8'238	7'634	8'969	5'123	2'078

Tableau 2-18 : Répartition des exploitations agricoles selon les zones de production et les classes de grandeurs

Classe de grandeurs	Nombre d'exploitations					
	Zone de plaine	Zone des collines	Zone de montagne I	Zone de montagne II	Zone de montagne III	Zone de montagne IV
Total	25'575	8'238	7'634	8'969	5'123	2'078
< 1ha	1 465	235	232	465	55	10
1 ha - 3 h	1 939	510	439	516	208	49
3 ha - 5 ha	1 114	458	526	595	387	144
5 ha - 10 ha	2 995	1 324	1 485	1 650	1 076	405
10 ha - 15 ha	3 990	1 597	1 517	1 550	915	345
15 ha - 20 ha	3 955	1 329	1 224	1 224	737	345
20 ha - 25 ha	3 095	952	761	986	587	260
25 ha - 30 ha	2 259	632	512	639	450	187
30 ha - 40 ha	2 519	672	525	661	465	205
40 ha - 50 ha	1 125	297	194	312	153	80
50 ha - 70 ha	775	169	155	269	76	38
70 ha - 100 ha	270	54	47	79	13	10
>100 ha	74	9	17	23	1	10

On peut relever que ~44% des exploitations se situent en zone de plaine et que celles situées en zone de montagne (I à IV) représentent ~41% des exploitations agricoles. Si l'on considère les exploitations à titre principal, on constate que :

- 10% d'entre elles ont une surface ente 5 et 10 ha
- 36% dispose d'une surface entre 10 et 20 ha
- 25% de 20 à 30ha
- 12% de 30 à 40 ha
- 10% ont plus de 40 ha

Dans la perspective de valoriser des substrats agricoles autres que les engrais de ferme, à savoir les cultures intermédiaires et les menues-pailles, on recense environ 20'000 exploitations situées dans les zones de plaines, des collines et de montagne 1, de 20 ha et plus, susceptibles de disposer de ces types de substrats. Les dépouillements ultérieurs permettront de définir les surfaces concernées et de les mettre en corrélation avec les effectifs de bétail.

2.4.2 Production d'engrais de ferme

La quantité d'engrais de ferme produite découle des effectifs de bétail, du type de déjection et de la durée de séjour du bétail à l'étable. Sur la base des références définies dans le chapitre « Méthodologie » la production d'engrais de ferme totale pour les trois catégories de bétail avoisine les 18.6 mio. de tonnes.

Tableau 2-19 : Production totale d'engrais de ferme (en tonnes)

Catégories d'animaux	Types de déjection			Total
	Lisier	Purin	Fumier	
Vaches laitières	7'605'800	3'288'400	2'565'300	13'459'500
Vaches-mères	718'900	994'600	998'800	2'712'300
Porcs	929'300	740'800	718'600	2'388'700
Total	9'254'000	5'023'800	4'282'700	18'560'500

La production d'engrais de ferme s'inscrit logiquement dans la proportion des modes de détention. Elle reste cependant très variable selon les effectifs en présence.

Les résultats obtenus serviront de base au calcul de la production de biogaz des exploitations recensées. Etant donné que ces références coïncident d'un point de vue « quantitatif », elles seront présentées de manière plus détaillée au chapitre 3.

2.5 Résultats exploitations bovines

2.5.1 Effectifs de bétail globaux

Il s'agit dans un premier temps de se concentrer sur les effectifs de bétail et leur répartition sur le territoire considérant qu'il s'agit du « fournisseur » principal de substrats à travers la production des engrais de ferme (lisier, purin et fumier).

La valorisation de ces données permet ainsi de définir à l'échelle des zones de production et des catégories de surface, les effectifs moyens de différentes catégories de bétail ainsi que le nombre d'exploitations qui y correspond. Cette clef de répartition fournit ainsi une représentativité de la ventilation géographique des exploitations agricoles en Suisse.

En 2011, on dénombre un effectif de **1'577'407** têtes de bétail bovin, composés de 589'239 vaches laitières.

Le tableau ci-dessous présente les effectifs et le nombre de détenteurs au niveau Suisse et par zones de production.

Tableau 2-20 : Nombre de détenteurs et effectifs de bétail bovin

	Détenteurs et Effectifs de bétail						
	Total	Zone plaine	Zone des collines	ZM I	ZM II	ZM III	ZM IV
Détenteurs de bétail	48'706	18'880	7'509	7'143	8'178	4'959	2'037
Détenteurs de bovins	40'309	14'746	6'351	6'296	7'242	4'060	1'614
Détenteurs de vaches laitières	31 678	11 015	4 865	5 092	6 022	3 342	1 342
Détenteurs d'autres vaches ¹	11 774	4 603	1 850	1 638	1 909	1 249	525
Effectif de bovins	1'557'407	671'863	247'512	233'572	255'320	123'352	45'788
Dont vaches	699 947	307'288	114'785	103'106	107'322	48'822	18'624
Dont vaches laitières	589'239	261'741	96'142	89'471	90'881	37'443	13'561
Dont autres vaches	110'708	45'547	18'643	13'635	16'441	11'379	5'063

¹vaches mères essentiellement

En se référant à la répartition des exploitations agricoles par classe de surface, on obtient la répartition des **bovins** se répartit ainsi :

Tableau 2-21 : Répartition des détenteurs de bovins par classe de surface

	Nombre détenteurs	% du nombre total d'exploitants suisses
TOTAL CH	40'309	69.96
< 1ha.	118	0.20
1 ha - 3 ha	402	0.70
3 ha - 5 ha	1'205	2.09
5 ha - 10 ha	5'507	9.56
10 ha - 15 ha	7'647	13.27
15 ha - 20 ha	7'385	12.82
20 ha - 25 ha	5'790	10.05
25 ha - 30 ha	4'112	7.14
30 ha - 40 ha	4'478	7.77
40 ha - 50 ha	1865	3.24
50 ha - 70 ha	1293	2.24
70 ha - 100 ha	397	0.69
>100 ha	110	0.19

70 % des exploitations suisses détiennent du bétail bovin
55% détiennent des vaches laitières et 20% des vaches mères.

2.5.2 Détenteurs et effectifs de vaches laitières

55% des exploitations agricoles de Suisse détiennent des vaches laitières. Comme l'indique le graphique ci-dessous leur répartition entre les différentes zones montre que 50% des vaches laitières se trouvent dans les zones de plaine et des collines. Le solde se répartit dans les zones de montagne.

Répartition des détenteurs de vaches laitières selon les zones de production

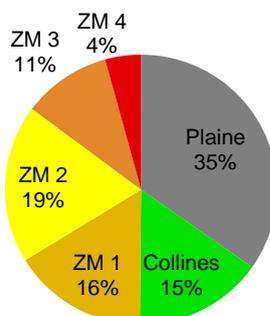


Figure 2-4 : Répartition des détenteurs de vaches laitières par zone de production

Sur la base des données de l'OFS, les effectifs moyens par détenteurs ont été définis. Les résultats obtenus ont également permis de mettre en évidence les effectifs de jeune bétail et de les inclure dans les effectifs moyens. Le tableau ci-dessous présente la répartition des exploitations laitières suisses par classe de grandeur avec les effectifs moyens de vaches laitières des différentes catégories.

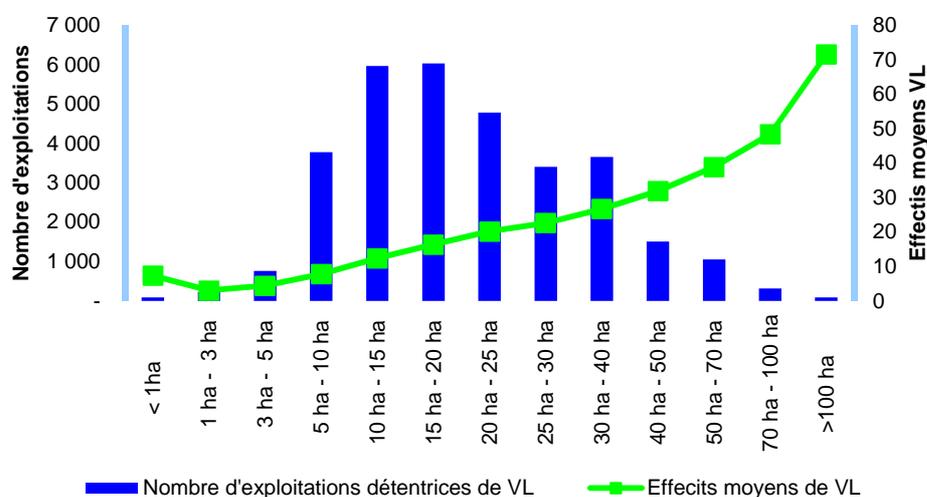


Figure 2-5 : Répartition des exploitations détentrices de vaches laitières par catégories de surface et effectifs moyens

Une grande majorité des exploitations laitières se situent dans les classes de 10 à 25 ha avec des effectifs moyens inférieurs à 20 vaches laitières.

Ces résultats nous indiquent que plus de 50% des détenteurs de vaches laitières détiennent au moins 15 vaches, le nombre d'exploitation selon les effectifs moyens se répartissent ainsi :

Tableau 2-22 : Nombre d'exploitations détentrices de vaches laitières par catégorie d'effectifs

Classe de grandeur des effectifs moyens de vaches laitières	Nombre d'exploitations détentrices
15 - 20 unités	6'755
20 - 25 unités	4'424
25 - 30 unités	2'484
30 - 35 unités	2'235
35 - 40 unités	793
40 - 45 unités	673
45 - 50 unités	134
>50 unités	277

2.5.3 Variante « Répartition par classe de grandeur et taille des troupeaux »

Les références de l'OFS, identifient les détenteurs de vaches laitières par catégorie de taille de troupeau à l'image du tableau ci-dessous.

Tableau 2-23 : Répartition des détenteurs de vaches laitières par taille de troupeaux

Taille de troupeaux [Nb de VL]	Nombre de détenteurs par zones de production					
	ZP	ZC	ZM I	ZM II	ZM III	ZM IV
15-19	1'888	1'036	1'162	1'235	537	178
20-29	3'205	1'419	1'174	1'161	384	138
30-39	1'614	534	363	330	84	25
40-49	778	201	150	114	26	8
50 et plus	835	165	124	75	9	-

Alors que les références utilisées jusqu'ici se basent sur les moyennes des effectifs par rapport au nombre de détenteurs, les valeurs de la répartition par classe de tailles de troupeaux, indiquent les exploitations effectivement recensées pour les catégories définies par tranche d'effectif... (15-19, 20-29. Etc.)

Globalement la comparaison des deux variantes fournit des résultats similaires pour les catégories dont les effectifs se situent entre 15 et 39 vaches. Néanmoins des différences conséquentes sont constatées pour les catégories de plus de 40 vaches.

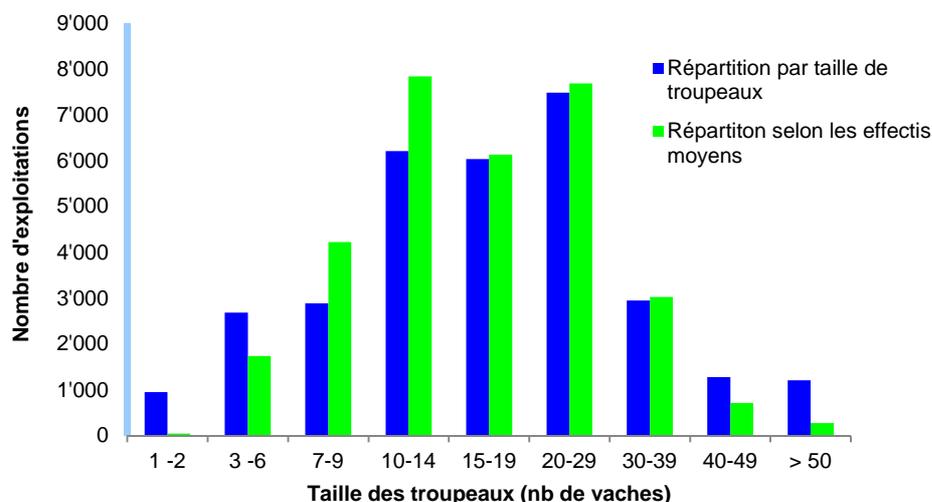


Figure 2-6 : Comparaison entre effectifs moyens et tailles de troupeaux des vaches laitières

Au vu de ce constat une seconde variante a été développée pour les vaches laitières en tenant compte de ces critères tout en y intégrant les paramètres obtenus pour la variante précédente (mode de stabulation, type de déjection, etc.).

Le but est de faire ressortir des grandes exploitations agricoles dont les effectifs de bétail importants sont noyés dans les moyennes statistiques.

Ces statistiques se n'appliquent d'ailleurs seulement qu'aux vaches laitières et pas aux vaches mères, ni aux porcs.

Les résultats sont présentés au paragraphe 3.3.6.

2.5.4 Détenteurs et effectifs des vaches-mères

Pour la détention des vaches mères toujours selon la même répartition (zones et classes de grandeur), les effectifs se répartissent selon les indications des paragraphes ci-dessous. Au niveau suisse, on recense 11'774 détenteurs qui possèdent en moyenne 9.4 vaches.

55% des détenteurs de vaches-mères se situent dans la zone de plaine et la zone des collines. Les 45% restant répartis dans les zones de montagne se concentrent principalement dans les zones de montagne 1 et 2.

Répartition des détenteurs de vaches mères selon les zones de production

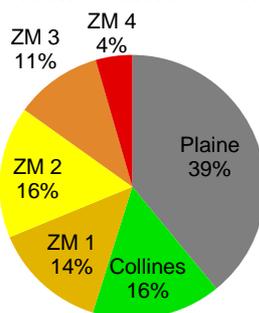


Figure 2-7 : Répartition des détenteurs de vaches-mères par zones de production

Les effectifs moyens de vaches-mères, varient entre 9 et 31 unités. La majorité des détenteurs se situent dans les classes de grandeurs allant de 5 à 40 ha, pour des effectifs ne dépassant pas 15 unités. Considérant les besoins minimaux nécessaires à la réalisation d'une installation de biogaz, on peut déjà affirmer à ce stade que le potentiel de réalisation pour les exploitations de vaches-mères sera relativement faible. Le tableau ci-dessous présente la répartition des détenteurs et leurs effectifs moyens à l'échelon national par classe de grandeur. Les détails de la ventilation par classe de grandeur et par zones sont disponibles à l'annexe.

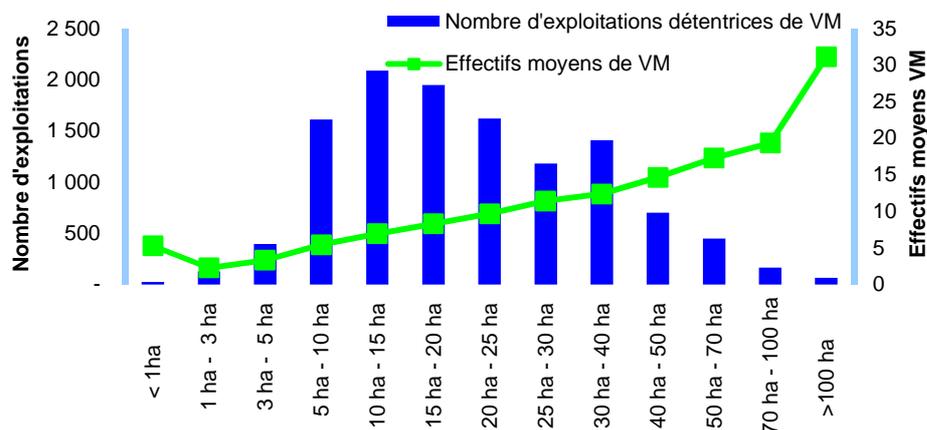


Figure 2-8 : Détenteurs et effectifs moyens de vaches-mères

2.5.5 Répartition selon les modes de détention et le type d'engrais de ferme produit

Les exploitations recensées sont ventilées en fonction des références fournies par l'HAFL

Vaches laitières

Tableau 2-24 : Répartition des exploitations avec vaches laitières selon les modes de détention et le type de déjection produite

Zones	Nombre total de détenteurs	Détenteurs en stabulation entravée			Détenteurs en stabulation libre			Couches profondes P+F
		Total	L	P+F	Total	Logettes		
						L	P+F	
CH	31'678	16'631	5'639	10'992	15'047	11'246	3'548	253
Zone plaine	11'015	5'783	1'961	3'822	5'232	3'910	1'234	88
Zone des collines	4'865	2'554	866	1'688	2'311	1'727	545	39
Zone de montagne 1	5'092	2'673	906	1'767	2'419	1'808	570	41
Zone de montagne 2	6'022	3'162	1'072	2'090	2'860	2'138	674	48
Zone de montagne 3	3'342	1'755	595	1'160	1'587	1'186	374	27
Zone de montagne 4	1'342	705	239	466	637	476	150	11

53% des exploitations produisent du lisier uniquement

46% produisent du purin et du fumier

1% est en couche profonde (principalement du fumier avec faible part de purin)

Vaches mères

Tableau 2-25 : Répartition des exploitations avec vaches mères selon les modes de détention et le type de déjection produite

Zones	Nombre total de détenteurs	Détenteurs en stabulation entravée			Détenteurs en stabulation libre			Couches profondes P+F
		Total	L	P+F	Total	Logettes		
						L	P+F	
CH	11'774	1'801	400	1'401	9'973	2'732	6'452	789
Zone plaine	4'603	690	138	552	3'913	1'059	2'532	322
Zone des collines	1'850	278	56	222	1'573	426	1'018	130
Zone de montagne 1	1'638	246	49	197	1'392	377	901	115
Zone de montagne 2	1'909	286	57	229	1'623	439	1'050	134
Zone de montagne 3	1'249	187	37	150	1'062	287	687	87
Zone de montagne 4	525	79	16	63	446	121	289	37

Environ 15% des vaches-mères sont détenues en stabulation entravée contre 85% en stabulation libres. Au sein de cette dernière catégorie, une majorité des déjections se composent de purin et de fumier.

2.5.6 Production d'eaux usées

La production d'eaux usées est établie à partir des références des données de base pour la fumure (DBF) et adaptées selon les indications présentées dans le chapitre méthodologie. Comme déjà mentionné, ce paramètre influence plus directement les volumes de stockage à prévoir que la production de biogaz à proprement parler. Globalement pour les systèmes de traite aux pots ou de traite directe : les volumes varient entre 130 et 900 m³/an. Pour les salles de traite et les robots, elles se situent entre 300 et 900 m³ sur une année.

Pour les vaches-mères, les références du DBF font état d'une utilisation annuelle de 7 m³ par UGB. Selon les effectifs de bétail, les volumes nécessaires peuvent varier entre 30 et plus de 400 m³.

2.6 Résultats exploitations porcines

2.6.1 Effectifs globaux des porcs

Dans le recensement des effectifs de porcs, on distingue deux catégories principales, à savoir :

- Les truies d'élevage et leurs porcelets
- Les porcs à l'engrais

Tableau 2-26 : Répartition des effectifs de porcs

	Total	Zone plaine	Zone des collines	ZM I	ZM II	ZM III	ZM IV
Effectifs totaux	1'578'687	1'019'102	289'052	156'180	104'701	8'271	1'381
Truies d'élevage	135'715	90'538	24'498	11'788	8'354	490	47
Porcelets allaités	299'089	193'311	58'697	27'194	19'001	1'554	52
Porcelets sevrés	352'719	231'058	67'211	30'800	22'218	1'399	33
Porcs à l'engrais	787'158	502'221	138'036	86'025	54'837	4'793	1'246

Tableau 2-27 : Répartition des détenteurs de porcs

Détenteurs	Total	Zone plaine	Zone des collines	ZM I	ZM II	ZM III	ZM IV
Total	8'324	3'777	1'612	1'424	1'174	266	71
de truies	3'137	1'545	630	465	409	76	12
de porcs à l'engrais	7'098	3'234	1'404	1'234	969	199	58

On distingue dans un premier temps deux catégories d'élevage :

- Les exploitations avec porcs à l'engrais
- Les exploitations avec truies et porcelets

2.6.2 Détenteurs et effectifs de porcs à l'engrais

Les détenteurs de porcs à l'engrais représentent ~12% du total des exploitations agricoles de Suisse. Leur répartition selon les zones de production se présente selon le graphique ci-dessous :

Répartition des détenteurs de porcs à l'engrais selon les zones de production

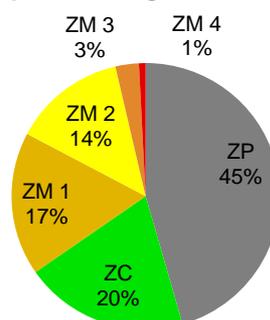


Figure 2-9 : Répartition des détenteurs de porcs à l'engrais par zones de production

Plus de 45% des porcs à l'engrais se trouvent en zone de plaine. Leur représentation dans les zones de montagne 3 et 4 est relativement faible (4% au total).

La répartition par catégorie de surface, fournit les indications suivantes :

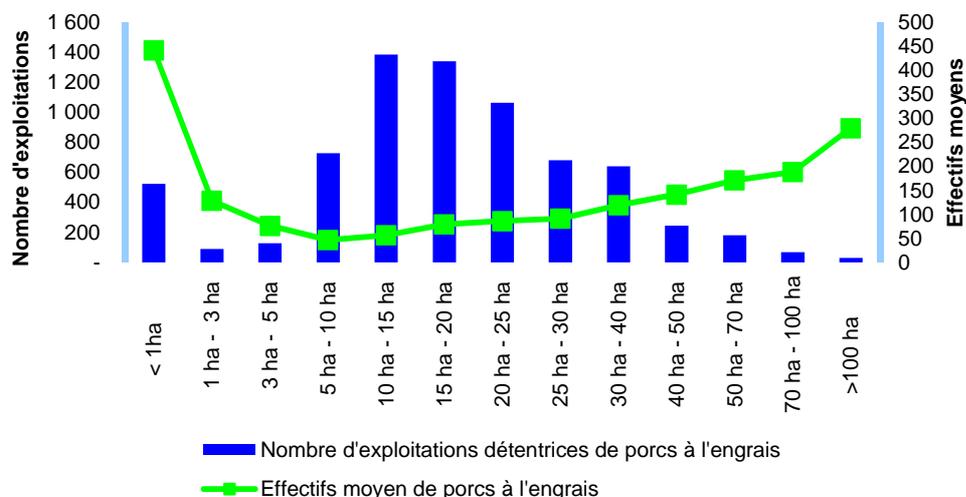


Figure 2-10 : Détenteurs et effectifs moyens de porcs à l'engrais

Une majorité d'exploitations se situent dans les classes de grandeurs entre 5 et 40 ha pour des effectifs moyens inférieurs à 150 porcs. La moyenne élevée constatée pour la classe de grandeur « < 1 ha » s'explique vraisemblablement par l'existence de grandes porcheries dans le cas de l'exploitation de fromageries, par exemple.

2.6.3 Détenteurs et effectifs de truies d'élevage

La répartition de détenteurs de truies est relativement similaire à celles des porcs à l'engrais avec une forte proportion située en zone de plaine

Répartition des détenteurs de truies par zones de production

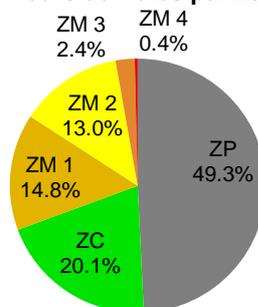


Figure 2-11 : Répartition des détenteurs de truies d'élevage par zones de production

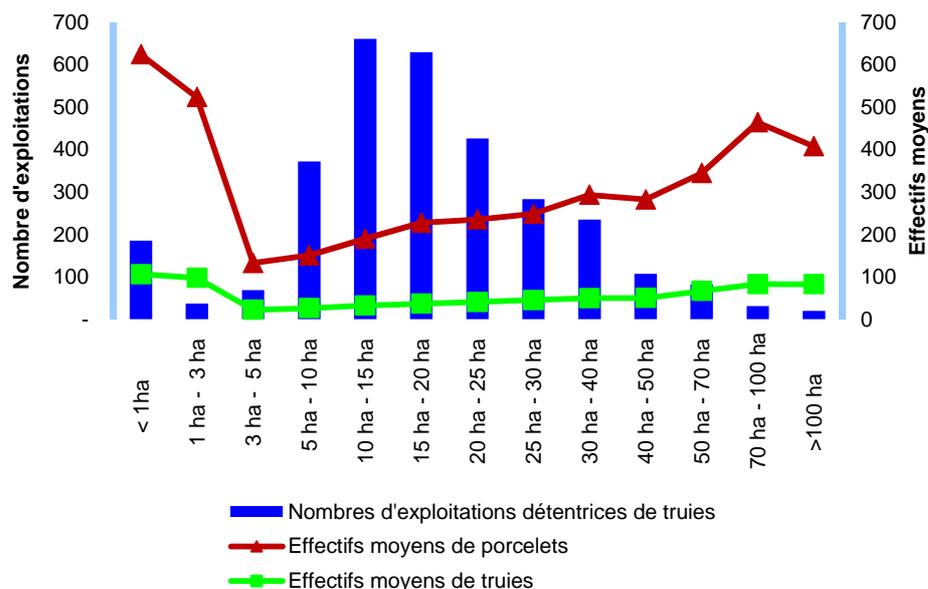


Figure 2-12 : Détenteurs et effectifs moyens de porcs à l'engrais

2.6.4 Répartition selon les modes de détention et le type d'engrais de ferme produit

Comme déjà mentionné dans le chapitre Méthodologie, la détention des porcs se limite à deux catégories, à savoir :

- Mode conventionnel avec lisier uniquement
- Etables « label » avec production de paille et de purin

Pour les porcs à l'engrais, la détention avec production de lisier concerne environ 40% des exploitations. La part d'étables pour label s'élevant à 60%

Pour la détention des truies d'élevage, cette répartition est de l'ordre de 50-50.

2.7 Résultats autres substrats issus des exploitations agricoles

2.7.1 Répartition des surfaces agricoles

L'agriculture suisse exploite 1'051'866 hectares de surfaces agricoles dont environ 270'000 hectares de surfaces de terres ouvertes vouées aux cultures.

La répartition de la surface agricole utile et des terres ouvertes entre les zones agricoles est définie comme suit :

Tableau 2-28 : Répartition de la surface agricole utile et des terres ouvertes

Zone de production	Répartition de la SAU	Répartition des terres ouvertes
Zone de plaine	47.1%	83.7%
Zone des collines	13.9%	11.6%
Zone de montagne 1	12.1%	3.8%
Zone de montagne 2	14.9%	0.8%
Zone de montagne 3	8.3%	0.1%
Zone de montagne 4	3.6%	-

Les références concernant la répartition et l'utilisation des surfaces agricoles n'ont pas besoin d'être exploitées dans leur ensemble pour ce projet mais sont utiles pour la détermination des quantités de substrats (cultures intermédiaires, déchets de cultures) identifiables et potentiellement valorisables pour la production de biogaz. Il s'agira d'une part de définir la part moyenne de céréales en vue de valoriser les menues-pailles et la part

moyenne de cultures intermédiaires dont la production peut être utilisée à des fins de production de biogaz.

2.7.2 Rendements moyens

Cultures intermédiaires

À partir de l'estimation des surfaces consacrées aux cultures intermédiaires définies au paragraphe 2.3.13, les rendements moyens sont obtenus par zones et par catégories de surface selon le tableau ci-dessous

Tableau 2-29 : Rendement moyen des cultures intermédiaires

Classes de grandeur	Rendement moyen (en t MS) des cultures intermédiaires par zone et catégorie d'exploitation		
	ZP	ZC	ZM 1
< 1ha	0.17	0.03	0.02
1 ha - 3 ha	0.87	0.25	0.11
3 ha - 5 ha	1.92	0.55	0.24
5 ha - 10 ha	3.72	1.05	0.45
10 ha - 15 ha	6.11	1.72	0.74
15 ha - 20 ha	8.49	2.41	1.04
20 ha - 25 ha	10.87	3.09	1.33
25 ha - 30 ha	13.31	3.77	1.65
30 ha - 40 ha	16.63	4.72	2.06
40 ha - 50 ha	21.59	6.11	2.66
50 ha - 70 ha	28.07	7.97	3.45
70 ha - 100 ha	39.23	10.85	4.87
>100 ha	75.72	16.41	8.27

Menues-pailles

Leur rendement (estimé à 1 tonne par ha) dépend directement de la surface moyenne de céréales des différentes catégories d'exploitation. Le tableau ci-dessous exprime la production potentielle pour les différentes zones.

Tableau 2-30 : Rendement moyen des menue-pailles

Classes de grandeur	Rendement moyen des menue-pailles par zone et catégorie d'exploitation, en t MS					
	ZP	ZC	ZM 1	ZM 2	ZM 3	ZM 4
< 1ha	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1 ha - 3 ha	0.8	0.7	0.2	0.3	0.0	0.0
3 ha - 5 ha	1.0	0.8	0.4	0.3	0.1	0.0
5 ha - 10 ha	1.5	1.2	0.9	0.6	0.5	0.0
10 ha - 15 ha	2.1	1.7	1.2	0.9	0.7	0.2
15 ha - 20 ha	2.7	2.1	1.7	1.1	0.8	0.0
20 ha - 25 ha	3.3	2.7	2.1	1.4	0.6	0.3
25 ha - 30 ha	4.0	3.1	2.7	1.9	1.3	0.0
30 ha - 40 ha	5.1	3.9	3.8	2.1	0.9	0.0
40 ha - 50 ha	6.6	5.1	5.0	2.6	1.1	0.7
50 ha - 70 ha	8.6	7.3	5.3	3.3	1.4	0.4
70 ha - 100 ha	12.6	11.9	6.4	6.6	1.5	0.0
>100 ha	22.2	18.0	14.4	6.7	0.0	1.5

3. Potentiel de production de biogaz

3.1 Méthodologie

Les statistiques analysées dans le chapitre précédent ont permis de définir les quantités de substrats agricoles produites, ventilées par exploitation, par zone de production agricole, par type d'exploitation, par type de stabulation et par surface.

Ces substrats comprennent les engrais de ferme (le lisier, le fumier et le purin), les eaux usées et les autres substrats ; ces derniers sont constitués par des cultures intermédiaires et des menues pailles.

Chacun de ces substrats permet de produire du biogaz lors de la digestion anaérobie.

En revanche, la quantité et qualité du biogaz produit par tonne de substrat ne sont pas pareilles ; elles dépendent des caractéristiques spécifiques comme la teneur en matières sèches (taux de MS), la teneur en matières organiques (taux de MO), et les teneurs spécifiques en graisses, protéines et glucides.

Le tableau 3-1 présente ainsi le potentiel méthanogène pour chaque substrat, exprimé en kWh par tonne de matière brute (MB).

Tableau 3-1 : Potentiel méthanogène des substrats (source EREP)

Substrat	Potentiel [kWh/t MB]
Lisier vaches-laitières	153
Lisier vaches-mères	153
Purin	87
Fumier logettes / stabulation entravée	328
Fumier couche profonde	364
Lisier de porc, engrais	90
Lisier de porc, élevage	83
Fumier de porc	577
Cultures intermédiaires	529
Menue paille de blé	1'961

En appliquant le potentiel méthanogène par substrat, les totaux en termes de productions de biogaz ont été calculés.

3.2 Potentiel global

La transformation en biogaz de la totalité des substrats (déjections des bovins et des porcs, cultures intermédiaires et menues-pailles) mis en évidence dans le chapitre précédent correspond à une production totale de : **4'409 GWh par an**.

Le tableau ci-dessous présente la production de biogaz pour les différentes catégories de bétail :

Tableau 3-2 : Production totale de biogaz des substrats identifiés

Substrats	Production de biogaz [GWh/an]
Bovins (lisier + fumier)	2'830
Porcs (lisier +fumier)	561
Cultures intermédiaires et menues-pailles	1'018
Total	4'409

Ce potentiel se répartit à hauteur de 64.2% pour les déjections de bovins, de 12.7 % pour les déjections des porcs et de 23.1% pour les cultures intermédiaires et la menue-paille.

3.3 Exploitations bovines

3.3.1 Potentiel global

Le potentiel global des exploitations bovines en Suisse est résumé au tableau 3-3 et présenté à la figure 3-1. Une distinction a été faite par type d'exploitation bovine et par type de stabulation.

La quantité totale d'engrais de ferme identifiée s'élève à **16'194'000 tonnes** par an. Elle permettrait de produire **2'830 GWh** d'énergie sous forme de biogaz.

Le potentiel total de production de biogaz, tenant compte également des autres substrats agricoles (des cultures intermédiaires et de la menue paille), a été estimé à **3'642 GWh** par an pour les bovins. La part des autres substrats dans cette production totale serait de 22%.

Tableau 3-3 : Potentiel global de production de biogaz des exploitations bovines en Suisse

	Stabulation	Nb d'expl. [-]	Qt. Engrais [t/an]	PB engrais [GWh]	PB en % [%]	PB TOT [GWh]	PB en % [%]
Vaches laitières	VL-EE-L	5'639	2'540'000	389	13.7	491	13.5
	VL-EE-P+F	10'992	4'341'000	831	29.3	1'031	28.3
	VL-SLL-L	11'246	5'066'000	775	27.4	980	26.9
	VL-SLL-P+F	3'548	1'401'000	268	9.5	333	9.1
	VL-SLCP-P+F	253	112'000	32	1.1	36	1.0
	Total VL	31'678	13'460'000	2'294	81	2'872	79
Vaches mères	VM-EE-L	353	83'000	13	0.4	20	0.5
	VM-EE-P+F	1'413	323'000	66	2.3	94	2.6
	VM-SLL-L	2'708	636'000	97	3.4	151	4.2
	VM-SLL-P+F	6'476	1'480'000	301	10.6	429	11.8
	VM-SLCP-P+F	824	212'000	60	2.1	77	2.1
	Total VM	11'774	2'734'000	536	19	771	21
	TOTAL		16'194'000	2'830	100	3'642	100

VL - Vache laitière
 VM - Vache mère
 EE - Etable entravée
 SLL - stabulation libre logettes
 SLCP - Stabulation libre couche profonde
 L - Lisier
 P - Purin
 F - Fumier
 PB - Potentiel de biogaz

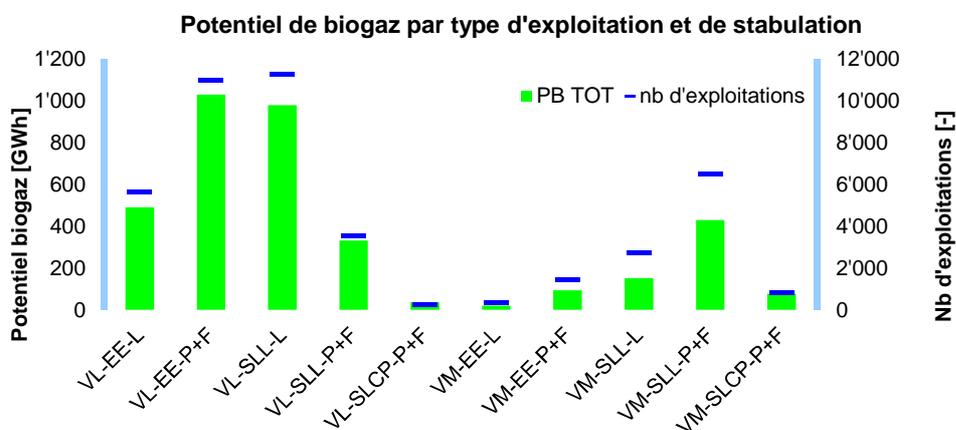


Figure 3-1 : Potentiel de biogaz par type d'exploitation et de stabulation

Une comparaison entre les exploitations vaches laitières et vaches mères (cf. figure 3-2), montre que 73% des exploitations bovines détiennent des vaches laitières. Elles produisent 83% des engrais de ferme bovins et contribueraient pour 79% au potentiel total de production de biogaz.

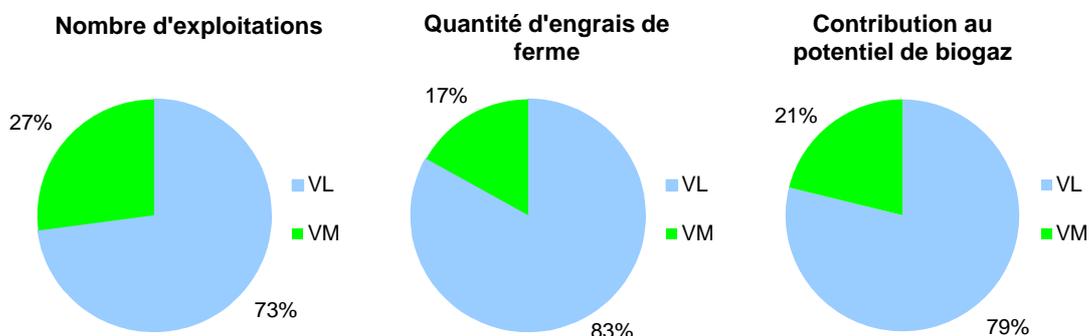


Figure 3-2 : Comparaison entre les exploitations détenant des vaches laitières (VL) et des vaches mères (VM)

Pour les vaches laitières le nombre d'exploitations et la part de production de biogaz selon les modes de détention se répartissent comme suit :

Tableau 3-4 : Répartition et production de biogaz pour les vaches laitières

Modes de détention	Nombre d'exploitations [-]	Production de biogaz [GWh]	Répartition [%]
Etables ent. Lisier seul	5'639	389	17
Etables ent Purin + fumier	10'992	831	36
Stab. libres Lisier seul	11'246	775	34
Stab libre Purin + Fumier	3'548	268	12
Stab libre couches profondes	253	32	1
Total	31'678	2'294	100

Selon les modes de détention, on constate que les étables entravées avec production de purin et de fumier représentent 36 % de la part de production de biogaz issue des vaches laitières. Cette part est de 34% pour les stabulations libres avec production de lisier uniquement. Ramenée aux types de déjection, en faisant abstraction du mode de détention, la production de lisier seul s'élève à 51% et celle de purin et fumier à 48%.

Concernant les vaches mères le nombre d'exploitations et la part de production de biogaz selon les modes de détention se répartissent selon le tableau suivant :

Tableau 3-5 : Répartition et production de biogaz des vaches mères

Modes de détention	Nombre d'exploitations [-]	Production de biogaz [MWh]	Répartition [%]
Etables ent. Lisier seul	353	12'685	2
Etables ent Purin + fumier	1'413	65'585	12
Stab. libres Lisier seul	2'708	97'305	18
Stab libre Purin + Fumier	6'476	300'598	56
Stab libre couches profondes	824	60'190	11
Total	11'774	536'363	100

68% du potentiel de production de biogaz concernent la production de purin et de fumier, la production à partir lisier seul, équivaut à 20%.

3.3.2 Potentiel global par zone de production

Les résultats du potentiel de production de biogaz ventilés par zone agricole et par taille d'exploitation sont présentés dans le tableau 3-6 et aux figures 3-3 et 3-4 ci-dessous.

Tableau 3-6 : Potentiel global de production de biogaz par zone de production et par taille d'exploitation [GWh]

	ZP	ZC	ZM I	ZM II	ZM III	ZM IV	TOTAL
< 1ha	2.3	0.5	0.3	0.9	0.2	0.0	4
1 ha - 3 ha	2.0	0.8	0.9	1.4	0.6	0.1	6
3 ha - 5 ha	5.3	3.8	5.3	6.9	3.3	0.9	25
5 ha - 10 ha	52.3	32.5	43.0	42.4	18.5	5.4	194
10 ha - 15 ha	164.0	75.4	80.2	72.8	31.2	11.5	435
15 ha - 20 ha	263.0	92.3	89.2	75.0	35.1	13.4	568
20 ha - 25 ha	286.9	83.2	68.8	72.8	34.7	12.5	559
25 ha - 30 ha	248.8	64.5	55.0	54.9	31.7	12.0	467
30 ha - 40 ha	336.6	85.3	69.9	68.0	39.0	11.7	610
40 ha - 50 ha	182.2	46.4	32.7	39.5	16.0	5.7	322
50 ha - 70 ha	158.5	32.1	34.3	39.5	9.3	2.7	276
70 ha - 100 ha	70.8	13.4	12.5	16.9	1.9	1.1	117
>100 ha	37.6	3.0	7.5	9.1	0.4	0.0	58
TOTAL	1'811	533	499	500	222	77	3'642

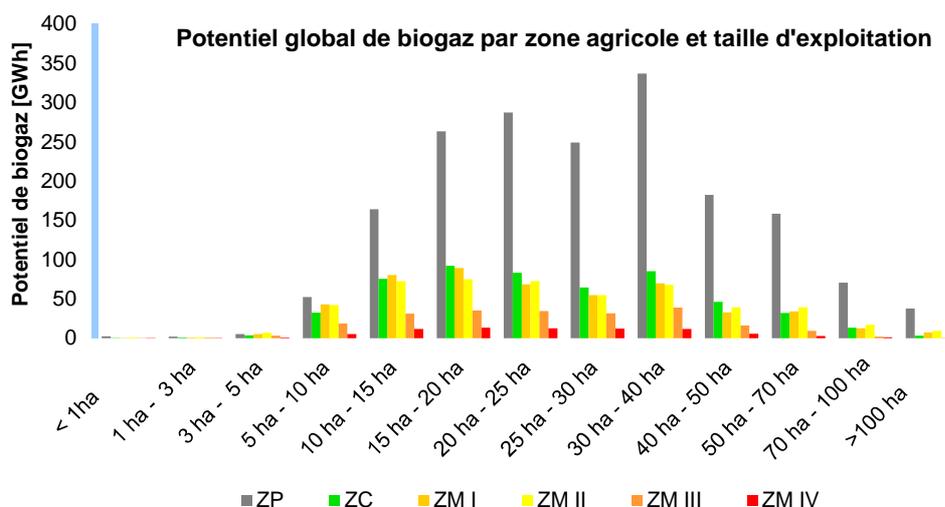


Figure 3-3 : Répartition du potentiel global de biogaz suivant la surface agricole et la zone de production

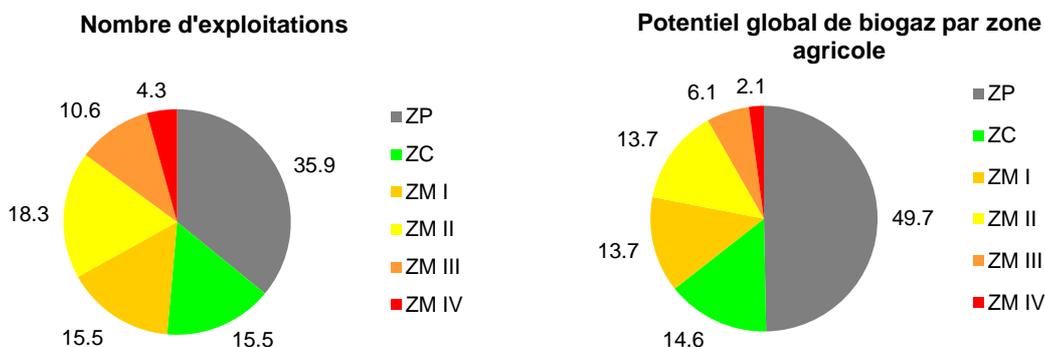


Figure 3-4 : Potentiel global de production de biogaz par zone de production ; (à gauche) le nombre d'exploitations par zone et (à droite) le potentiel global de biogaz, en pourcentage du total.

35.9 % des exploitations bovines se situent en zone de plaine et elles produiraient 49.7% du potentiel global de biogaz. Ce relatif fort potentiel des exploitations n'est pas forcément lié à la taille du troupeau, qui, pour les zones de plaine, des collines et de montagnes I et II, ne varie pas considérablement (cf. figure 3-5 ci-dessous). La raison principale doit être trouvée dans la part des autres substrats agricoles au potentiel de production de biogaz. En zone de plaine il y a simplement plus de surface disponible pour les cultures intermédiaires et la production de céréales y est plus importante.

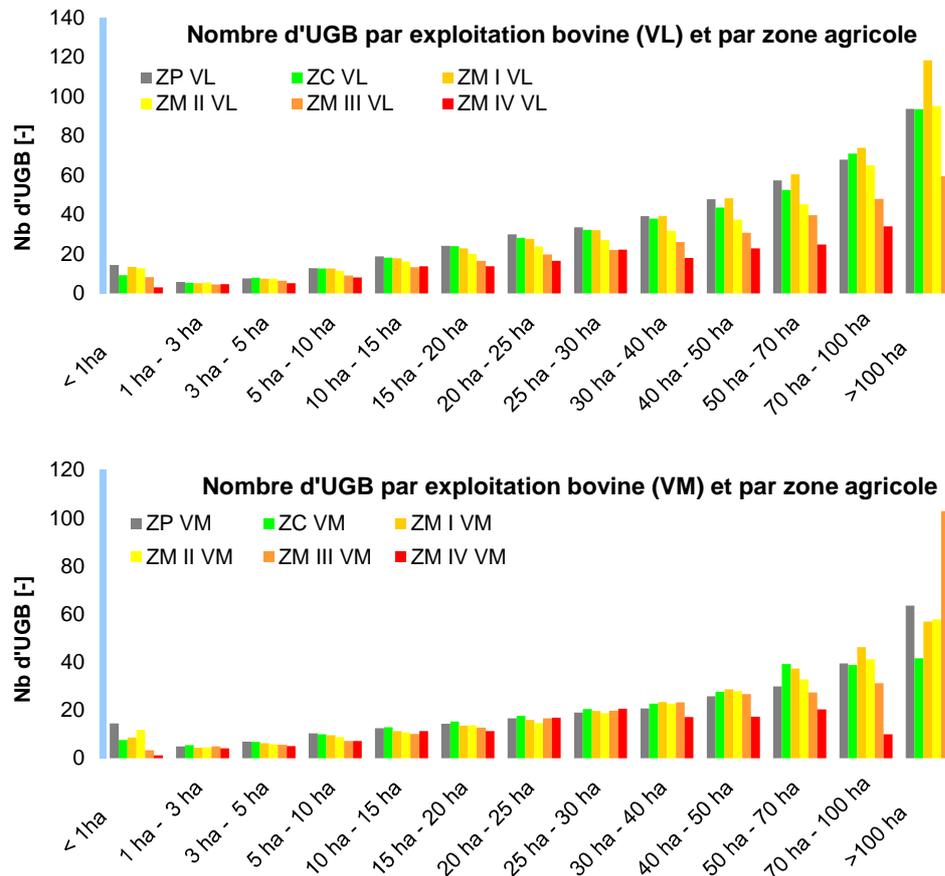


Figure 3-5 : Nombre d'UGB par zone agricole et par exploitation pour (en haut) les vaches laitières et (en bas) les vaches mères

La part des autres substrats dans le potentiel total de production de biogaz est visualisée à la figure 3-6, en faisant distinction entre les vaches laitières et vaches mères.

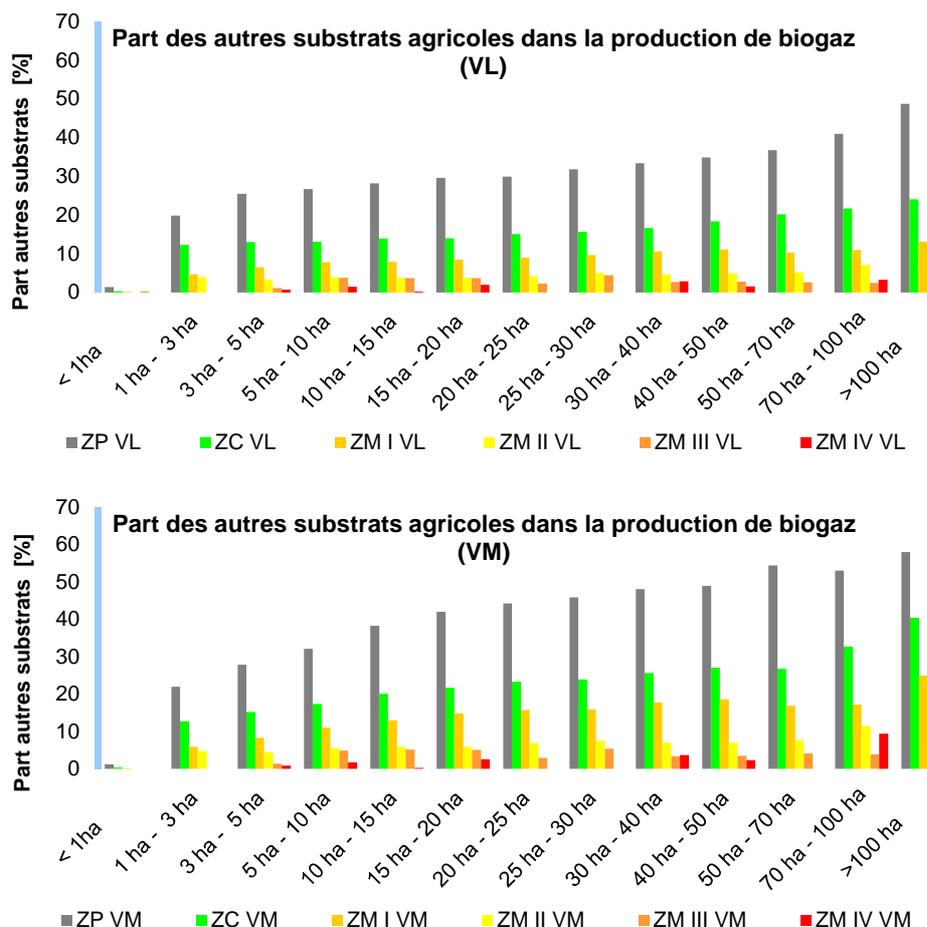


Figure 3-6 : La part des autres substrats agricoles dans le potentiel global de production de biogaz pour (en haut) les vaches laitières et (en bas) les vaches mères

La part des autres substrats dans le potentiel global de production de biogaz varie entre 20 et 49% en zone de plaine pour les exploitations détenant des vaches laitières (entre 22 et 58% pour les vaches mères) contre 10 à 25% en zone des collines (13 à 41% pour les vaches mères).

3.3.3 Potentiel de puissance électrique

Un paramètre caractéristique et comparatif pour la définition d'une petite installation de biogaz type est celui de la puissance électrique que produirait le couplage-chaleur-force, exprimée en $kW_{él}$.

Cette puissance a été calculée sur la base du potentiel annuel de production de biogaz des substrats agricoles issus d'une exploitation multiplié par le rendement électrique du CCF (valeur admise de 30%). Ceci permet de définir la quantité d'électricité produite par an. En divisant cette quantité par le nombre d'heures de fonctionnement (admis à 8'000 h par an) on obtient la puissance électrique.

Les puissances ainsi calculées se situent toutes dans une plage de 0 à 25 $kW_{él}$. La représentativité des catégories de puissances est illustrée par le nombre d'installations de biogaz potentiel et le potentiel global de production de biogaz à cette puissance précise (figure 3-7) :

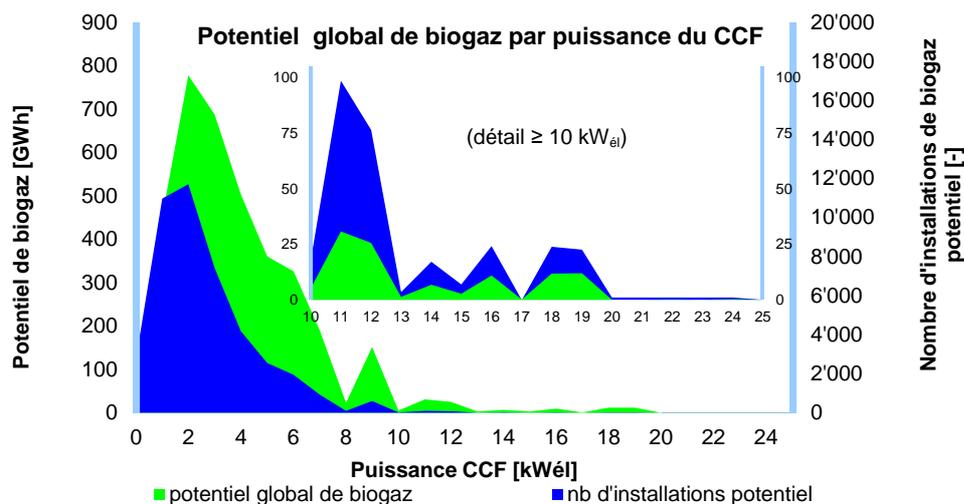


Figure 3-7 : Potentiel global de biogaz et le nombre d'installations de biogaz potentiel par puissance du CCF

La puissance moyenne du CCF pondérée par le nombre potentiel d'installations de biogaz serait de 3 kW_{él}. La grande majorité d'installations se situerait entre 1 et 6 kW_{él}. La pondération permet de mettre en évidence le poids du nombre d'installations à une certaine puissance électrique (cf. figure 3-7), dans la valeur moyenne.

La puissance moyenne du CCF par zone agricole est présentée au tableau suivant :

Tableau 3-7 : Puissance moyenne du CCF suivant la zone agricole

Zone agricole	Puissance moyenne CCF [kW _{él}]
ZP	4.3
ZC	3.0
ZMI	2.8
ZMII	2.4
ZMIII	1.8
ZMIV	1.5
Moyenne	3

Les puissances électrique moyennes sont plus importantes pour les zones de plaine et des collines ; elles se situent à la moyenne, voir au-dessus.

La zone de montagne I se situe près de la moyenne. Les zones de montagne II, III et IV montrent de puissances moyennes bien en-dessous de la valeur moyenne, ceci dû aux diminutions de la taille moyenne du troupeau (cf. figure 3-5) et de la part des autres substrats dans la production de biogaz (cf. figure 3-6).

La figure 3-8 suivante présente le potentiel global de biogaz à réaliser suivant une puissance électrique minimale choisi.

Le potentiel global à développer diminue rapidement en augmentant la puissance minimale choisie du CCF.

Développer des installations individuelles à partir d'une puissance du CCF de 2 kW_{él} permettrait de capter 86% du potentiel global de biogaz identifié, à 4 kW_{él} ce pourcentage s'élèverait à 45% et à 6 kW_{él} il serait de 22%.

Il n'atteint seulement qu'une valeur de 3% pour des puissances à partir de 10 kW_{él}.

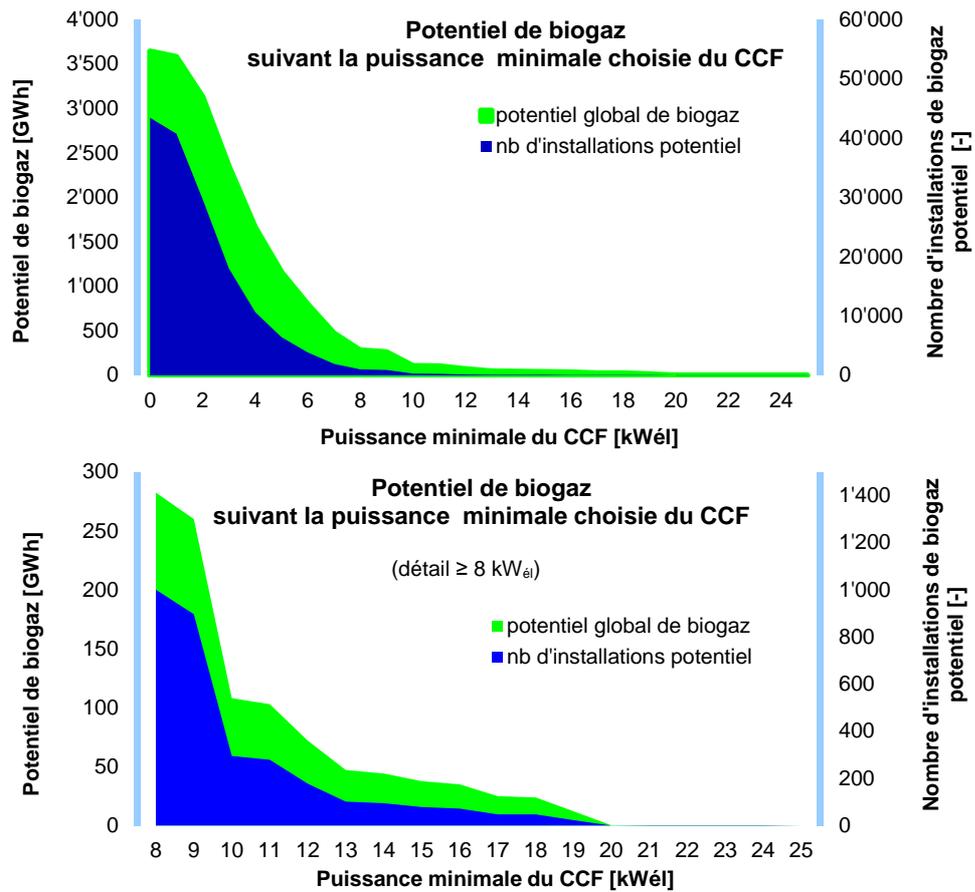


Figure 3-8 : Potentiel global de biogaz suivant la puissance minimale choisie du CCF, dont le deuxième graphique présente le détail pour des puissances minimales à partir de 8 kW_{él}.

3.3.4 Puissance électrique et taille moyenne du troupeau

La relation entre la puissance électrique du CCF et la taille moyenne du troupeau est présentée à la figure 3-9 suivante.

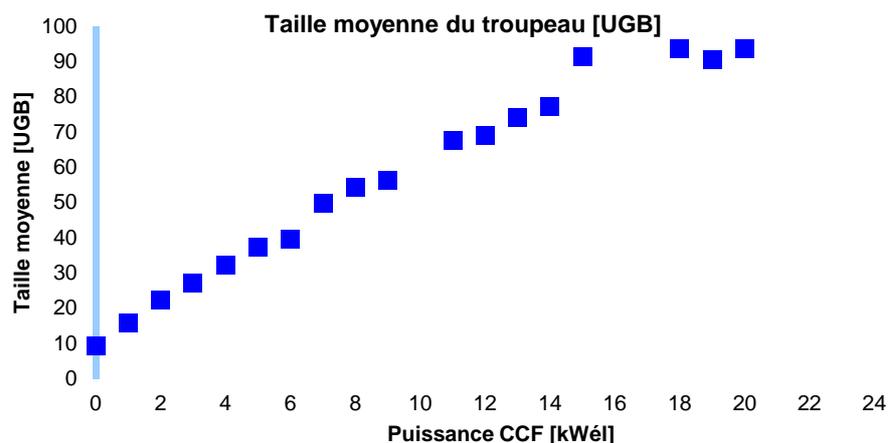


Figure 3-9 : Taille moyenne du troupeau suivant la puissance du CCF

La taille moyenne du troupeau à la puissance électrique moyenne de toutes les exploitations bovines, pondérée par le nombre potentiel d'installations de biogaz, à savoir à 3 kW_{él}, se situe à 27 UGB environ.

3.3.5 Puissance électrique et quantité moyenne traitée

La relation entre la puissance de l'unité CCF et la quantité moyenne traitée pour les exploitations bovines est montrée à la figure 3-10.

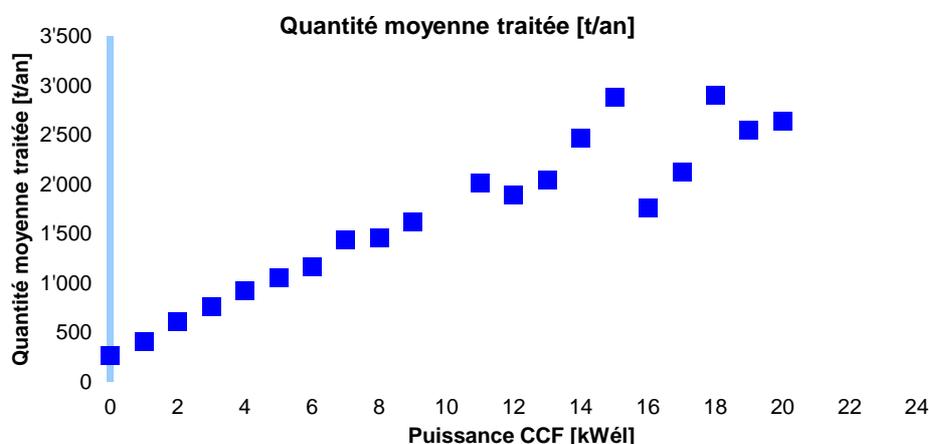


Figure 3-10 : Quantité moyenne traitée suivant la puissance du CCF

On remarque une relation presque linéaire pour la plage de puissance du CCF entre 0 et 10 kW_{él} et la quantité moyenne traitée. A partir d'une puissance de 9 kW_{él} les quantités moyennes sont plus dispersées. La raison est que les quantités moyennes pour les puissances en-dessous de 9 kW_{él} sont calculées sur un nombre important d'exploitations, diminuant alors des valeurs extrêmes. Au-dessus d'une puissance du CCF de 9 kW_{él} le calcul de la quantité moyenne ne concerne que beaucoup moins d'exploitations laissant donc plus la valeur moyenne se faire influencer par des cas extrêmes.

La quantité moyenne nécessaire pour pouvoir alimenter le CCF moyen des exploitations bovines de 3 kW_{él} serait d'environ 750 tonnes.

3.3.6 Répartition des exploitations productrices de lisier et de fumier

La répartition des exploitations productrices de lisier et de fumier a été déterminée pour chaque puissance électrique. Le résultat est présenté à la figure suivante :

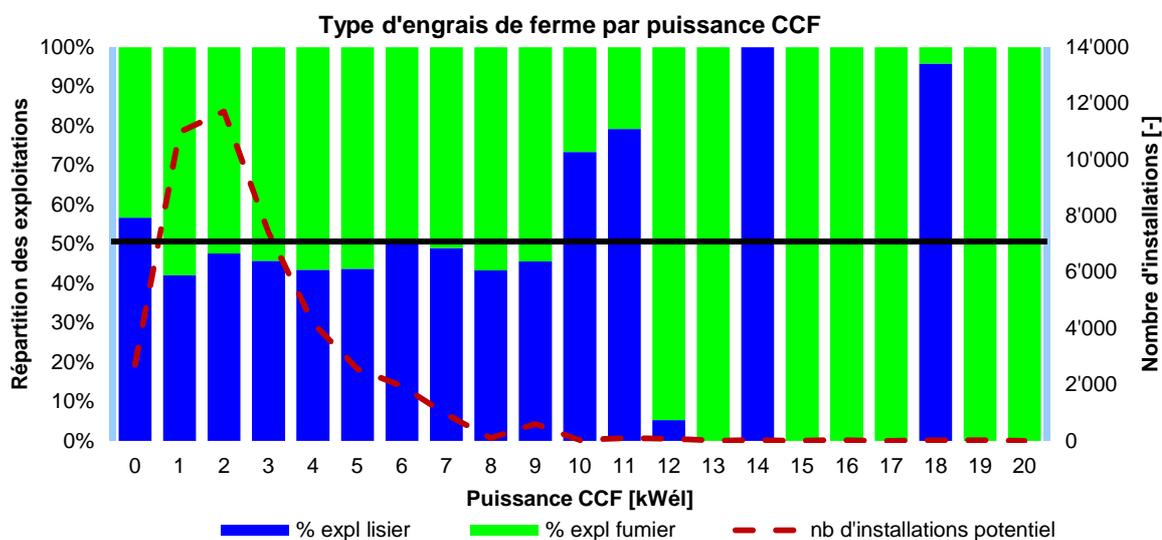


Figure 3-11 : Répartition du type d'engrais de ferme suivant la puissance pour les exploitations bovines

Jusqu'à une puissance de 9 kW_{él}, représentant 98% des exploitations bovines, la répartition entre les exploitations détentrices de lisier et de fumier est légèrement majoritaire pour celles qui produisent du fumier.

Au-dessus de cette puissance électrique on retrouve des répartitions plus marquées entre soit 100% de lisier ou soit 100% de fumier.

Sur la totalité des exploitations bovines, 54% sont productrices de fumier.

3.3.7 Variante VL Répartition par classe de grandeur et taille des troupeaux

Cette variante permet de différencier, par surface agricole, des exploitations la taille des troupeaux. Les données sont seulement disponibles pour les exploitations agricoles détenant des vaches laitières et à partir d'une taille du troupeau de 15 vaches et plus.

Au total 18'900 exploitations agricoles ont été identifiées pour un potentiel global de production de biogaz évaluée à 2'300 GWh.

Le potentiel global de biogaz (figure 3-12) est concentré autour des exploitations agricoles ayant une surface agricole entre 15 et 40 ha et une taille de troupeau de 20 – 29 vaches.

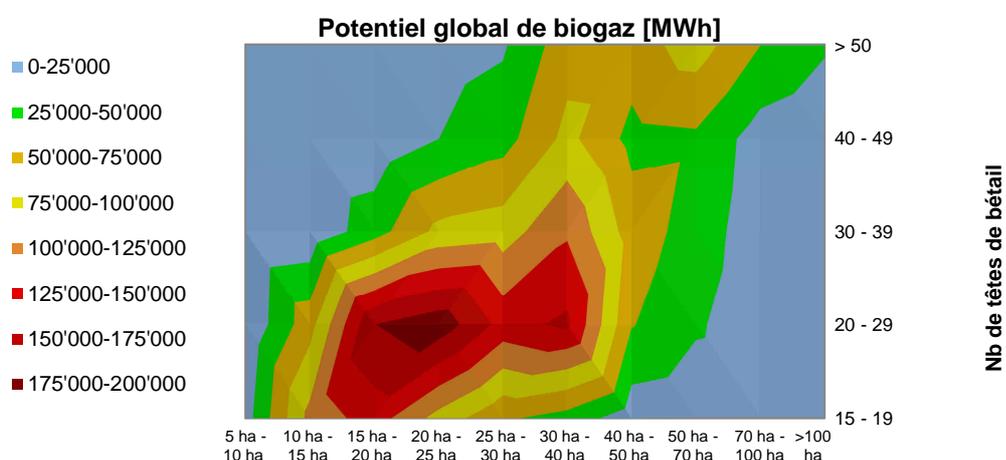


Figure 3-12 : Répartition du potentiel global de biogaz selon la surface agricole de l'exploitation agricole et la taille du troupeau

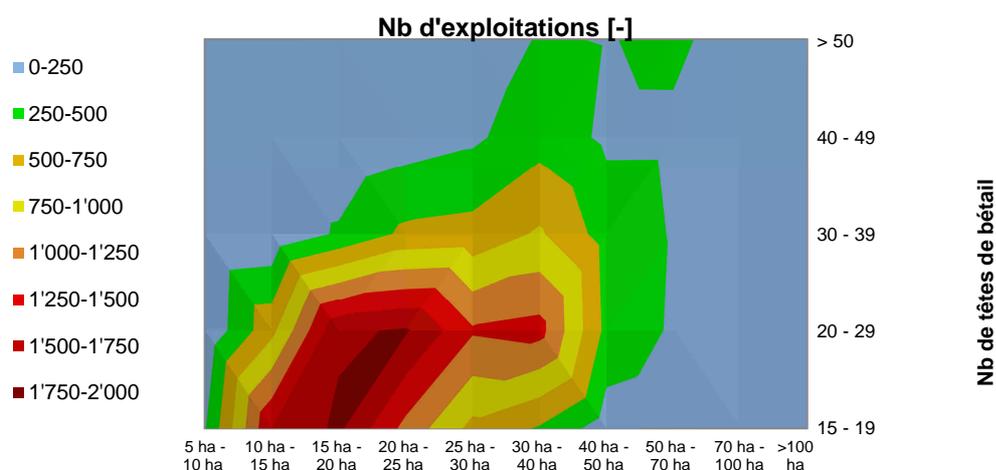


Figure 3-13 : Répartition du nombre d'exploitations agricoles selon la surface agricole de l'exploitation agricole et la taille du troupeau

La concentration du potentiel de biogaz correspond à la concentration du nombre d'exploitations (cf. figure 3-13).

3.4 Exploitations porcines

3.4.1 Potentiel global

Le potentiel global des exploitations porcines figure au tableau 3-8 et à la figure 3-14, reparti par type d'élevage et de stabulation.

La quantité totale d'engrais de ferme identifiée s'élève à **2'388'700 tonnes** par an. Elle permettrait de produire **561 GWh** d'énergie sous forme de biogaz.

Le potentiel total de production de biogaz, tenant compte également des autres substrats agricoles, a été estimé à **766 GWh** par an pour la Suisse. La part des autres substrats dans cette production totale serait de 26.7%.

Tableau 3-8 : Potentiel global de production de biogaz des exploitations porcines en Suisse

	Stabulation	Nb d'expl. [-]	Qt. Engrais [t/an]	PB engrais [GWh]	PB en % [%]	PB TOT [GWh]	PB en % [%]
Truies & Porcelets	TP - L	1'426	425'500	35	6.3	67	8.8
	TP - L+F	1'711	325'900	102	18.2	135	17.7
	Total TP	3'137	751'400	137	25	203	26
Porcs à l'engrais	PE - L	2'839	503'800	45	8.1	102	13.2
	PE - L+F	4'259	1'133'500	378	67.4	462	60.3
	Total PE	7'098	1'637'300	423	75	564	74
TOTAL		10'235	2'388'700	561	100	766	100

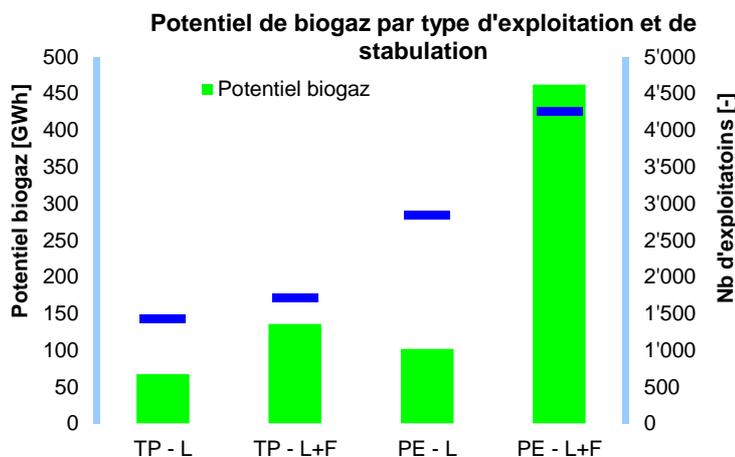


Figure 3-14 : Potentiel de biogaz par type d'exploitation et de stabulation

Une comparaison entre les exploitations des deux filières de l'élevage porcin (cf. figure 3-15), montre que 69% des exploitations détiennent des porcs à l'engrais. Elles produisent des engrais de ferme dans pratiquement la même proportion. En revanche, elles contribueraient pour 74% au potentiel total de production de biogaz.

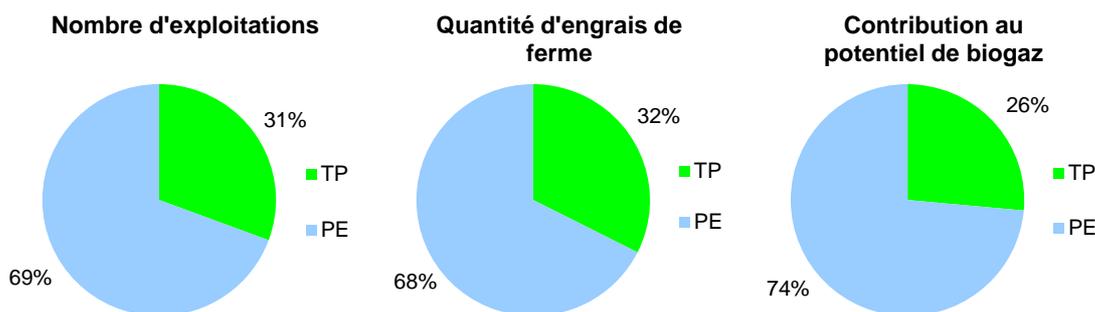


Figure 3-15 : Comparaison entre les exploitations détenant des truies et porcelets (TP) et des porcs à l'engrais (PE)

3.4.2 Potentiel global par zone de production

Les résultats du potentiel de production de biogaz des exploitations porcines en Suisse, exprimé par zone agricole et par taille d'exploitation figurent au tableau 3-9 et à la figure 3-16 ci-dessous.

Tableau 3-9 : Potentiel annuel de production de biogaz par zone de production et par taille d'exploitation [GWh]

	ZP	ZC	ZM I	ZM II	ZM III	ZM IV	TOTAL
< 1ha	98.7	18.1	15.8	11.9	0.3	0.2	144.9
1 ha - 3 ha	7.5	0.9	1.0	0.7	0.0	0.0	9.9
3 ha - 5 ha	5.4	1.2	0.5	0.3	0.1	0.0	7.6
5 ha - 10 ha	20.2	6.5	5.0	3.2	0.5	0.0	35.4
10 ha - 15 ha	50.8	17.8	11.5	5.9	0.5	0.0	86.6
15 ha - 20 ha	71.9	21.4	13.8	5.3	0.8	0.1	113.5
20 ha - 25 ha	69.3	18.1	7.1	4.8	0.5	0.1	100.0
25 ha - 30 ha	51.8	12.5	4.5	3.6	0.2	0.0	72.8
30 ha - 40 ha	61.9	12.6	5.4	3.0	0.5	0.2	83.6
40 ha - 50 ha	27.9	7.3	2.5	1.9	0.2	0.0	39.7
50 ha - 70 ha	29.6	5.0	2.0	1.4	0.1	0.1	38.1
70 ha - 100 ha	16.8	1.1	0.6	0.8	0.0	0.0	19.4
>100 ha	12.1	1.2	1.6	0.1	0.0	0.0	15.0
TOTAL	524.1	123.9	71.2	42.9	3.7	0.8	766.5

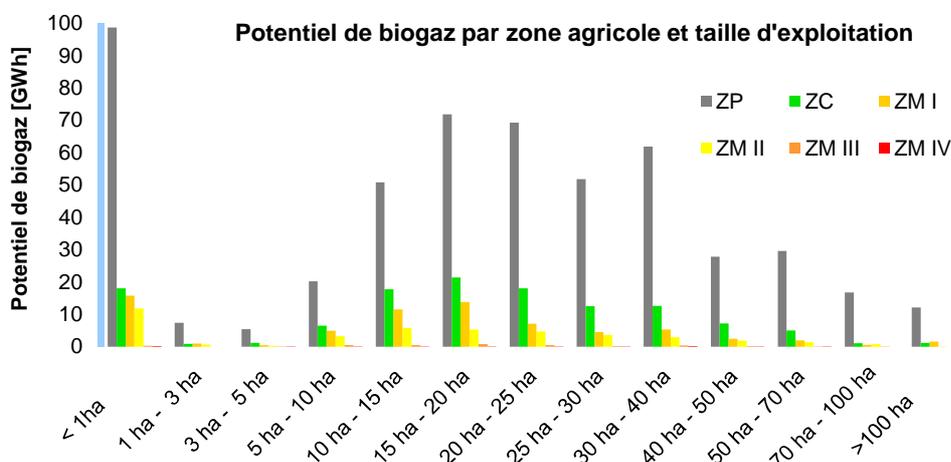


Figure 3-16 : Répartition du potentiel global de biogaz suivant la surface agricole et la zone de production

144.9 GWh par an (18.9%) du potentiel global de biogaz pourraient être produits par des exploitations ayant une surface agricole de moins d'un hectare, dont 111.3 GWh/an seraient issus d'exploitations détenant des porcs à l'engrais en stabulation lisier & fumier. Ceci est dû au produit d'un nombre élevé d'exploitations à cette taille de surface et des effectifs par exploitation importants (voire la figure 3-17 ci-dessous).

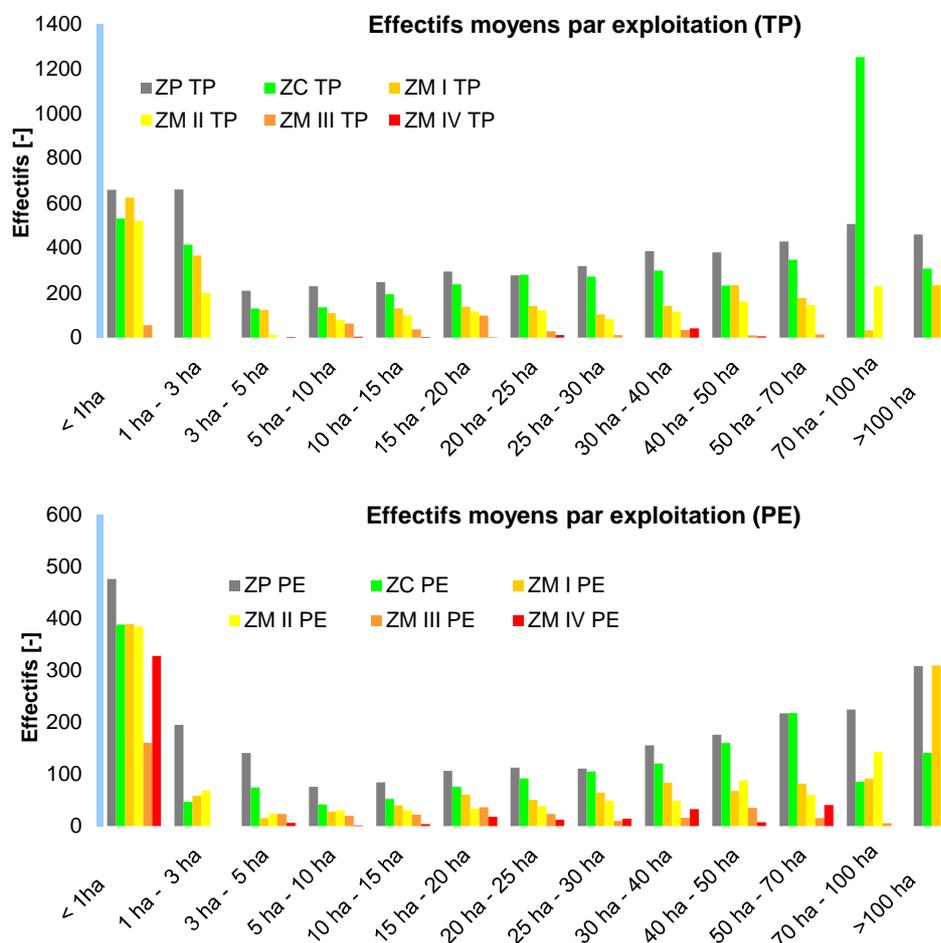


Figure 3-17 : Effectifs moyens par exploitation pour (en haut) les exploitations détentrices de truies et des porcelets (TP) et (en bas) les exploitations ayant de porcs à l'engrais (PE)

En comparant, par zone agricole, le nombre d'exploitations et le potentiel total de biogaz, dont les résultats sont visualisés à la figure 3-18, on remarque que 46.7 % des exploitations se situent en zone de plaine produiraient 68.4% du potentiel global de biogaz.

La raison d'un relativement fort potentiel de production de biogaz par exploitation a été liée, pour ce qui concerne les exploitations bovines (cf. § 0), à la part des autres substrats dans la production potentielle de biogaz.

Pour les exploitations porcines la raison n'est pas complètement liée à la part de ces substrats (voire figure 3-19), mais elle est également associée aux effectifs moyens par exploitation, que présente le tableau 3-10. La réduction des effectifs moyens en passant d'une zone agricole à l'autre est plus nette que pour les effectifs moyens des exploitations bovines (cf. figure 3-5 à la page 34).

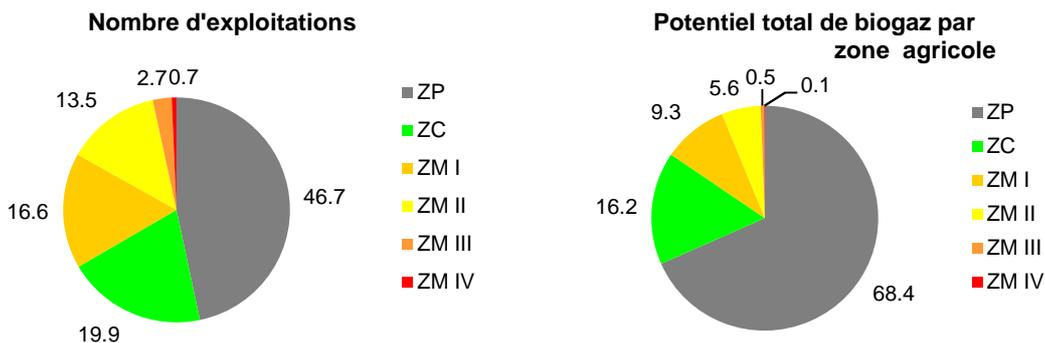


Figure 3-18 : Potentiel global de production de biogaz par zone de production ; (à gauche) le nombre d'exploitations par zone et le potentiel global de biogaz, en pourcentage du total.

Tableau 3-10 : Effectifs moyens des exploitations porcines suivant la zone de production agricole

	Effectifs moyens TP	Effectifs moyens PE
ZP	334.6	155.3
ZC	239.7	98.3
ZMI	150.9	69.7
ZMII	121.9	56.6
ZMIII	45.5	24.1
ZMIV	11.3	21.5

La part des autres substrats dans le potentiel total de production de biogaz est visualisée à la figure 3-19 ci-dessous.

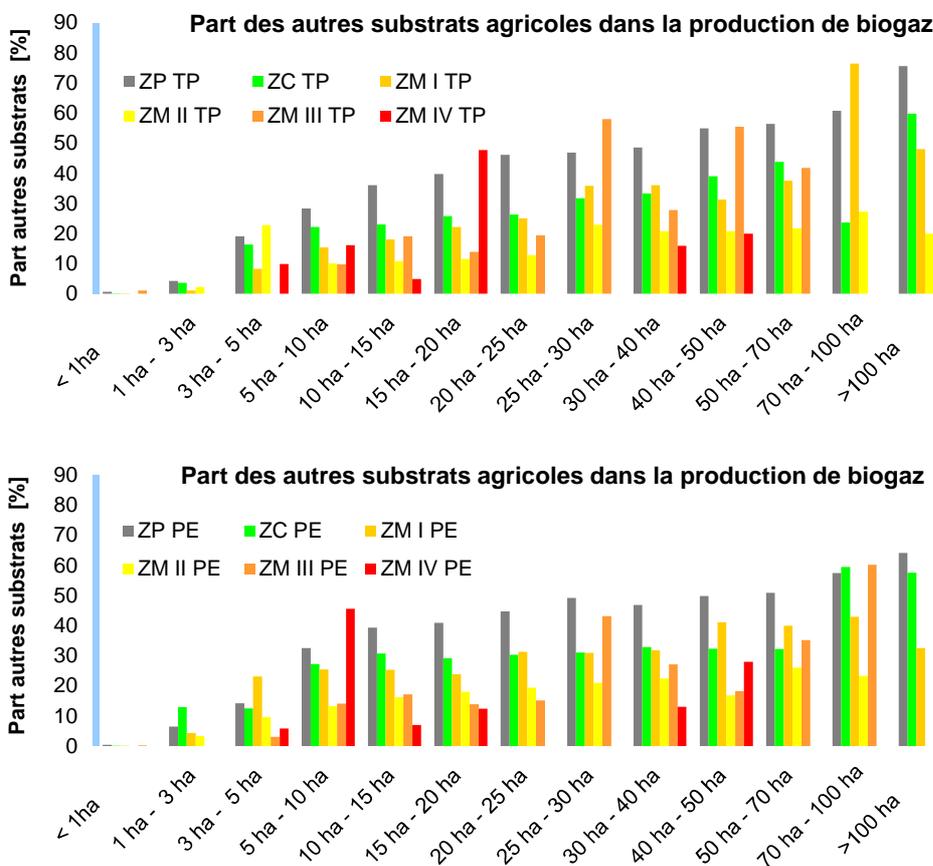


Figure 3-19 : La part des autres substrats agricoles dans le potentiel global de production de biogaz pour (en haut) les truies et porcelets et (en bas) les porcs à l'engrais

La part des autres substrats agricoles dans la production de biogaz est un peu plus aléatoire pour les exploitations porcines que pour les exploitations bovines. Ceci est lié au nombre d'exploitation sur lequel les moyennes sont calculées. Surtout pour des surfaces importantes, peu d'exploitations sont présentes et donc les valeurs extrêmes sont moins lissées dans la moyenne.

3.4.3 Potentiel de puissance électrique

Comme pour les exploitations bovines, le potentiel global de biogaz est traduit sous forme de puissance électrique de l'unité CCF que pourrait alimenter la digestion des substrats agricoles par exploitation porcine.

Les puissances électriques ainsi calculées se situent toutes également dans une plage de 0 à 25 kW_{éi}.

L'importance d'une certaine puissance est illustrée en montrant le nombre d'installations de biogaz potentiel et le potentiel global de production de biogaz à cette puissance précise (figure 3-20):

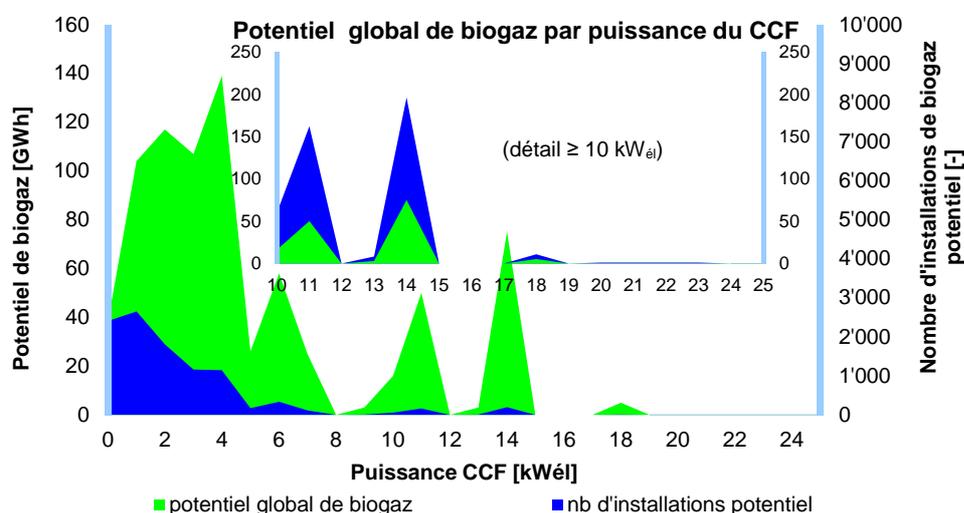


Figure 3-20 : Potentiel global de biogaz et le nombre d'installations de biogaz potentiel par puissance du CCF

La puissance électrique moyenne, pondérée par le nombre potentiel d'installations de biogaz, serait de 2.3 kW_{éi}, légèrement en-dessous de la valeur trouvée pour les exploitations bovines. La grande majorité d'installations potentielles se situerait entre une puissance de 1 et de 5 kW_{éi}.

Deux pics importants sont à signaler, un à 11 kW_{éi} et un à 14 kW_{éi}.

La puissance électrique moyenne par zone agricole est présentée au tableau suivant :

Tableau 3-11 : Puissance électrique moyenne du CCF suivant la zone agricole

Zone agricole	Puissance moyenne [kW _{éi}]
ZP	4.1
ZC	2.3
ZMI	1.6
ZMII	1.2
ZMIII	0.5
ZMIV	0.4
Moyenne	2.3

La puissance électrique moyenne en zone de plaine est bien supérieure à la moyenne ; elle situe à 4.1 kW_{él}. Les effectifs moyens par exploitation (cf. figure 3-17) y sont relativement plus importants comme également de la part des autres substrats agricoles (cf. figure 3-19).

La figure 3-21 présente le potentiel global de biogaz à réaliser suivant une puissance minimale du CCF qui pourrait être choisie.

Le potentiel global à développer diminue rapidement en montant en puissance minimale du CCF, pour légèrement se stabiliser entre 7 et 11 kW_{él}.

Développer des installations individuelles à partir d'une puissance du CCF de 2 kW_{él} permettrait de capter 82% du potentiel global identifié, à 4 kW_{él} ce pourcentage s'élève à 52% et à 6 kW_{él} il serait de 31%.

En observant le potentiel global à développer pour des puissances importantes identifiées, il atteint une valeur 10% pour des puissances à partir de 10 kW_{él}.

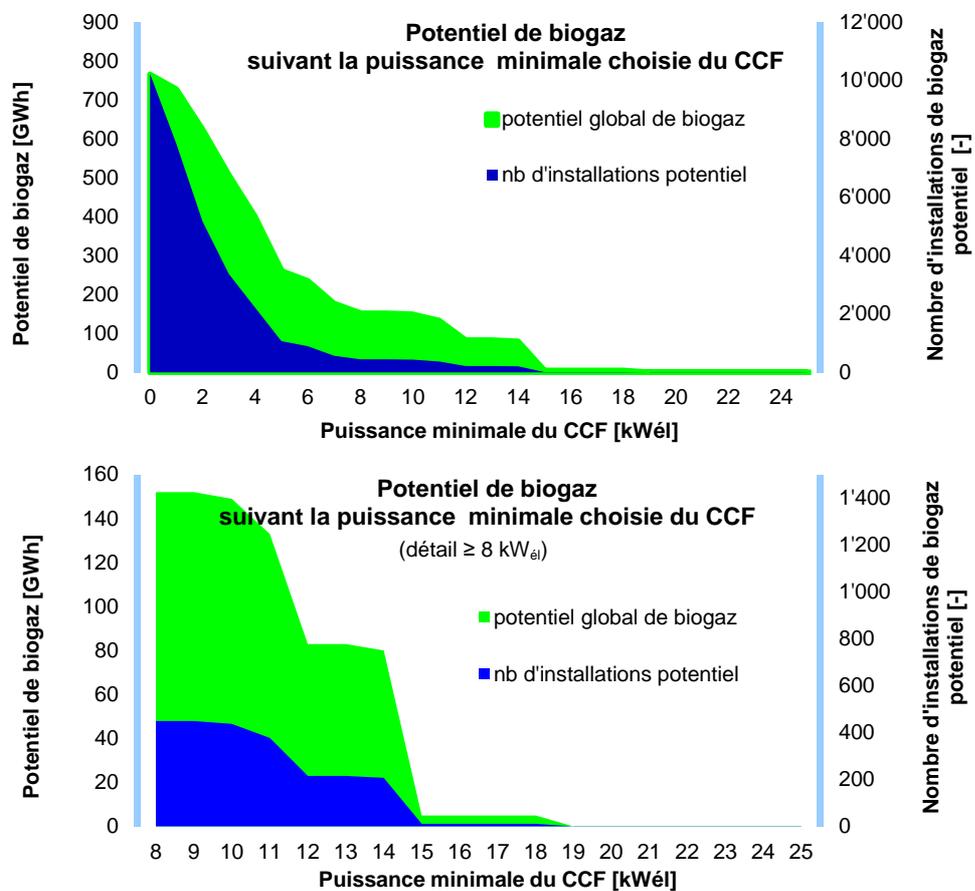


Figure 3-21 : Potentiel global de biogaz suivant la puissance minimale choisie du CCF, dont le deuxième graphique présente le détail pour des puissances minimales à partir de 8 kW_{él}.

3.4.4 Puissance CCF et effectifs moyens

La relation entre la puissance de l'unité CCF et les effectifs de porcs moyens par exploitation est présentée à la figure 3-22 suivante.

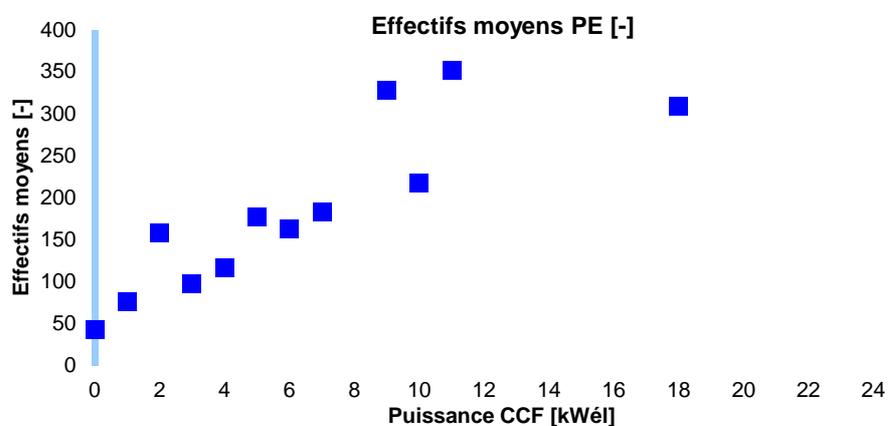


Figure 3-22 : Effectifs moyens de porcs suivant la puissance du CCF, pour (en haut) les truies et porcelets et pour les porcs à l'engrais.

Les effectifs moyens à la puissance moyenne du CCF pondérée au nombre d'installations de biogaz potentiel, à savoir à 2.3 kW_{él}, se situent à 245 pour les truies et porcelets et à 115 pour les porcs à l'engrais.

3.4.5 Puissance CCF et quantité moyenne traitée

La relation entre la puissance de l'unité CCF et la quantité moyenne traitée pour les exploitations porcines est montrée à la figure 3-13.

La quantité moyenne nécessaire pour pouvoir alimenter le CCF moyen des exploitations porcines de 2.3 kW_{él} est d'environ 265 tonnes.

Comparée aux exploitations bovines, la quantité nécessaire pour atteindre une certaine puissance du CCF est bien inférieure. Une explication pour cette différence pourrait être la combinaison d'un part, d'une production de fumier relativement plus importante, et d'autre part, d'une production fortement inférieure d'eaux usées pour les exploitations porcines.

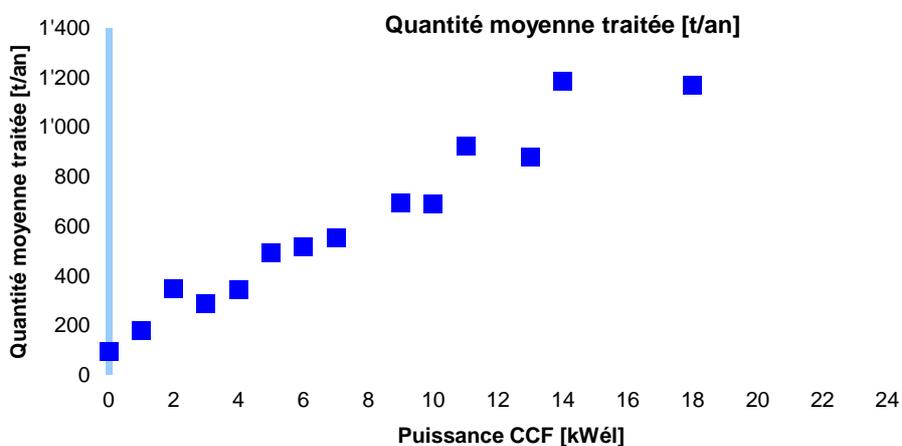


Figure 3-23 : Quantité moyenne traitée suivant la puissance du CCF

3.4.6 Répartition des exploitations productrices de lisier et de fumier

La répartition des exploitations productrices de lisier et de fumier pour chaque puissance électrique est présentée à la figure suivante :

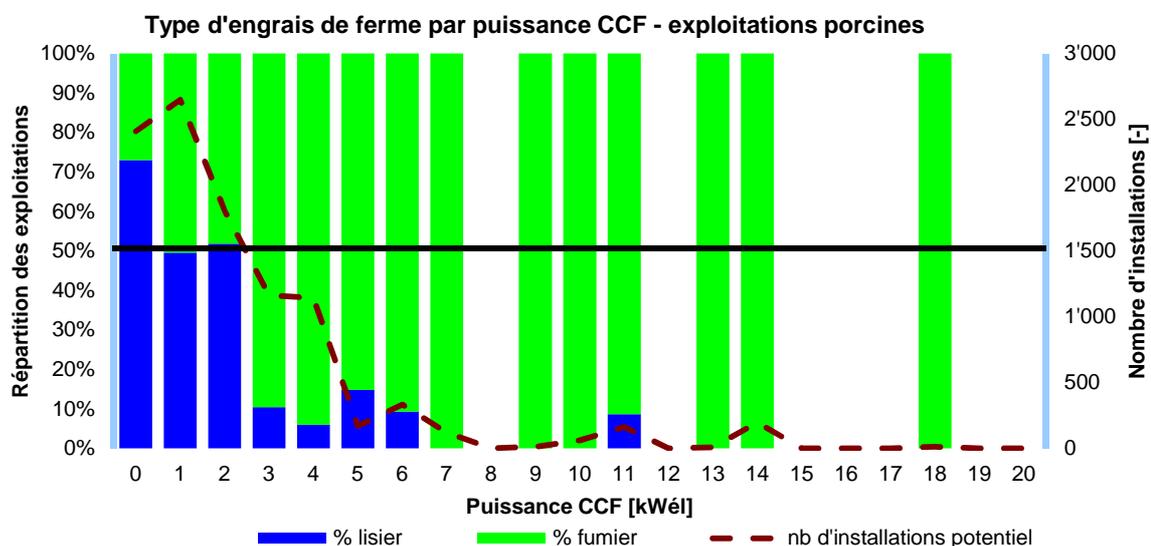


Figure 3-24 : Répartition du type d'engrais de ferme suivant la puissance pour les exploitations porcines

Jusqu'à une puissance de 2 kW_{él}, représentant d'ailleurs 50% des exploitations porcines, un peu plus que la moitié des exploitations produisent du lisier.

Néanmoins, la part des exploitations productrices de fumier est relativement important et elle devient majoritaire pour des puissances électrique de 3 kW_{él} et plus.

Sur la totalité des exploitations porcines, 58% sont productrices de fumier.

4. Identification et description du marché des constructeurs

4.1 Méthodologie

Les informations décrites dans ce chapitre ont été recensées en deux temps : (1) Identification des entreprises fournissant des systèmes de petite méthanisation et (2) demande de renseignements complémentaires sur leurs procédés (données techniques, économiques, références, etc.).

Pour la première partie, un vaste exercice de recherche sur internet a permis d'identifier un grand nombre de compagnies proposant des systèmes de petite méthanisation en Europe. Cette recherche a été complétée par d'autres actions, telles que la consultation des annuaires de membres d'associations faitières du biogaz dans différents pays, l'échange d'informations avec d'autres acteurs travaillant sur le même sujet de la petite méthanisation (RAEE (F), Région Wallonie (B), IEA Bioenergy¹, etc.), ainsi que la compilation d'articles de revues spécialisées traitant ce sujet.

Les entreprises identifiées, ont été contactées et invitées à remplir un questionnaire nous permettant de collecter des données sur leurs procédés. Les réponses au questionnaire étant malheureusement très faibles ou incomplètes, il a été décidé d'arrêter l'envoi de questionnaires et de contacter les compagnies en leur posant des questions de manière directe (e-mail, téléphone). Certains échanges ont également eu lieu lors de rencontres personnelles dans des foires et expositions ou lors de visites d'installations.

Remarque

Les technologies et fournisseurs présentés dans ce chapitre et à l'annexe 1 sont les principaux recensés à ce jour et ne constituent pas une liste exhaustive. Compte tenu de l'engouement actuel pour les systèmes de méthanisation à petite échelle, de nouveaux systèmes technologiques apparaissent fréquemment.

Les informations ont été recueillies, en grande partie, sur les sites internet des fournisseurs, dans des dépliants promotionnels ou dans des magazines spécialisés. Bien que les sources utilisées soient crédibles et sérieuses, toutes les informations n'ont pas été vérifiées auprès des fournisseurs.

L'information contenue dans ce chapitre étant fournie à titre indicatif, les auteurs déclinent toute responsabilité concernant l'actualité, l'exactitude et la complétude des données mises à disposition.

4.2 Aperçu des technologies disponibles

Le potentiel que recèle le marché des petites installations de méthanisation à la ferme a généré un enthousiasme pour ce type de technologies qui sont chaque fois plus nombreuses sur le marché. Ce ne sont pas moins de 70 compagnies européennes proposant des systèmes de petite méthanisation à un stade commercial qui ont été recensées par EREP à ce jour. Une liste alphabétique des compagnies recensées, toutes technologies confondues, est présentée en annexe 1.

Sans aller trop loin, cela vaut la peine de mentionner que certains constructeurs implantés en Suisse proposent depuis peu une offre pour des petites installations de méthanisation. Il s'agit des sociétés Schweizer, Arnold & Partner, SwissEcoSystems, Mons Bio4gas et Renergon. A l'exception de Renergon qui commercialise un système de méthanisation par voie solide discontinue, tous les autres proposent des systèmes de méthanisation par voie

¹ La Task 37 de l'IEA travaille également sur ce sujet et prépare une brochure sur le thème « Small-scale anaerobic digestion » qui sera disponible au courant 2014 sur le site web www.iea-biogas.net

liquide « infiniment mélangé ». Au vu de leur présence sur le marché suisse, les systèmes proposés par ces sociétés seront présentés plus en détail dans les chapitres suivants.

En Allemagne, la révision de la loi sur les énergies renouvelables (EEG 2012) a introduit un nouveau bonus pour petites installations (<75 kW_{éi}), ce qui a sans aucun doute incité les constructeurs à s'orienter vers cette gamme de puissance. Certains constructeurs, ont conçu des unités standardisées et complètement conteneurisées pour les exploitations de petite taille. Il s'agit notamment des procédés GülleWerk de Agrikomp, EUColino de Schmack Biogas et CON2 de Conviotec et Consentis.

Nous avons aussi recensé plusieurs constructeurs déjà solidement implantés sur le marché allemand avec une technologie classique (digesteurs « infiniment mélangé » en béton ou en acier) qui ont développé une offre pour des installations de petite taille (<75 kW_{éi}). Sans proposer des installations novatrices développées spécifiquement pour la petite méthanisation, leur démarche reste intéressante car ils proposent souvent des adaptations ou optimisations de leurs systèmes afin de réduire les coûts de construction pour cette gamme de puissance. Parmi ceux-ci on peut mentionner (liste non exhaustive) : BioConstruct, Biogas Hochreiter, Biogas Nord, Enspar Biogas, Inergie, MT-Energie, Novatech, NQ-Anlagentechnik, PlanET Biogastechnik, Sauter Biogas, et UTS Biogastechnik. L'enquête a aussi montré la présence sur le marché des technologies avec des digesteurs verticaux préassemblés qui permettent d'avoir des installations occupant très peu d'espace et proposant un temps de construction réduit à quelques semaines seulement. Des exemples de ce type de digesteurs sont : Microfarm de HoSt BioEnergy, NOVA de 4Biogas, Bebra Biogas, Fermtech et UDR Monotube de Röring. Ces systèmes prévoient des éléments de process optimisés (pré-traitement hydrolytique, compartiment avec lit fixé, système de filtration avant l'extraction du digestat, etc) leur permettant de fonctionner avec des temps de séjour de l'ordre de 10 jours.

Un autre groupe de constructeurs semblent s'être spécialisés uniquement dans les installations de petite taille. Il s'agit dans la plupart des cas, de procédés innovants et relativement jeunes sur le marché, voir au stade de développement. Il s'agit en général d'installations de plus de 30 kW_{éi} : Bio4gas, BioWaz, Valogreen, BluEnergyControl et Odipure.

Compte tenu des conditions cadres actuelles, la majorité de systèmes de « petite méthanisation » développés se situent sur des puissances de plus de 30 kW_{éi}. En Europe, très peu de fournisseurs proposent des installations en dessous de 20 kW_{éi}, voire en-dessous de 10 kW_{éi}. On peut citer par exemple Portaferm, société allemande offrant un digesteur en acier inoxydable, Bioelectric société belge construisant des digesteurs en géomembrane et Seab Energy et QUBE Renewables, sociétés britanniques proposant des systèmes conteneurisés.

Les concepts pour les très petites installations de biogaz sont généralement basés sur le traitement de lisiers seuls.

Les procédés de petite méthanisation à la ferme peuvent être subdivisés en deux grandes catégories : les procédés de méthanisation liquide et les procédés de méthanisation par voie solide.

4.3 Technologies de petite méthanisation liquide

Parmi les compagnies proposant des systèmes de petite méthanisation par voie liquide, nous présentons plus en détails celles qui, à notre avis, sont intéressantes de prendre en compte pour des projets en Suisse, soit parce qu'elles sont déjà actives dans notre pays, soit parce que leur concept est vraiment innovant et à des chances de pouvoir être adapté aux structures des fermes en Suisse.

Schweizer

Schweizer est une entreprise suisse appartenant au groupe Meyer très actif dans le domaine agricole et ayant construit une vingtaine d'installations de biogaz en Suisse qui vont de 25 kW jusqu'à 500 kW.

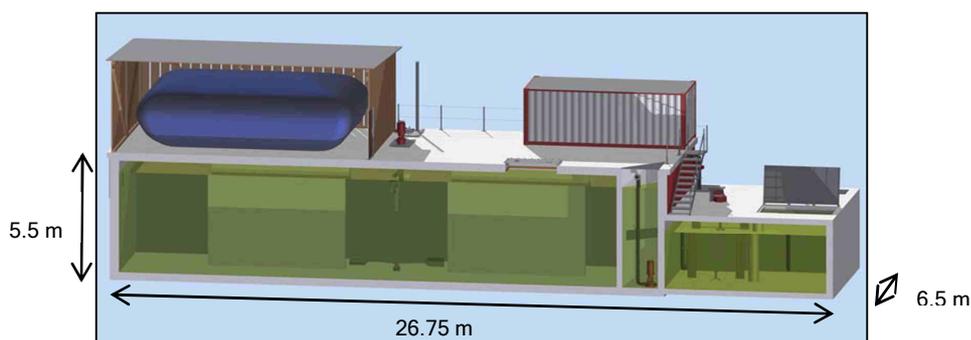


Figure 4-1 : L'installation compacte de la société Schweizer

La société a développé un nouveau concept d'installation « compacte » dont les premiers projets sont en phase de planification. Il s'agit d'une installation semi-enterrée avec un digesteur de 600 m³, une préfosse de 108m³, un stockage de biogaz indépendant et un conteneur technique avec tous les équipements et la cogénération.

SwissEcoSystems GmbH (EcoGas)

SwissEcoSystems GmbH est une jeune entreprise suisse créée en 2008 qui planifie et construit des installations de biogaz de petite taille appelées EcoGas. La société a déjà construit trois installations de 64 kW_{él} à Zwillikon (ZH), Frutigen (BE) et Gutenswil (ZH)

La société propose la construction clé-en-main, en entreprise générale. Le système EcoGas préconise un mélange de toutes les matières dans la fosse d'homogénéisation évitant ainsi l'installation d'une trémie d'alimentation. Le digesteur EcoGas est en acier émaillé d'un volume de 490 m³ et fonctionnant en mode mésophile. Une double membrane est intégrée au toit du digesteur pour le stockage du gaz. Le couplage chaleur-force est livré dans un conteneur technique avec le module de commande Ecogas^{Logig}.

SwissEcosystems peut également proposer des installations en Suisse intégrant le conteneur de marque Kleinvieh contenant tous les équipements techniques et de contrôle-commande pré-montés, une trémie d'alimentation BioMix et une unité de cogénération avec moteur dual-fuel de 50 ou 75 kW_{él} selon les besoins du projet.



Figure 4-2 : Installation EcoGas. Source: www.swissecosystems.ch

Arnold & Partner

Arnold & Partner AG est une société suisse active dans la construction et fourniture d'équipements pour l'agriculture qui a construit (en collaboration avec la société Genesys) une vingtaine d'installations de biogaz agricole en Suisse entre 1998 et 2006.

Le système Compact « Ring in Ring » de Arnold & Partner AG consiste en un digesteur et un post-digesteur concentriques de 445 m³ et 612 m³ utiles respectivement construits en éléments de béton préfabriqués. Le digesteur d'une hauteur de 6m et semi-enterré est couvert d'une membrane EPDM faisant office de stockage de gaz. Le digesteur quant à lui d'une hauteur de 4m est couvert par une dalle en béton carrossable. Sur cette dalle se trouve le local technique de 17m² contenant le CCF et tous les équipements techniques nécessaires au fonctionnement de l'installation. L'alimentation des solides se fait par des vis d'alimentation à partir d'un mélangeur.

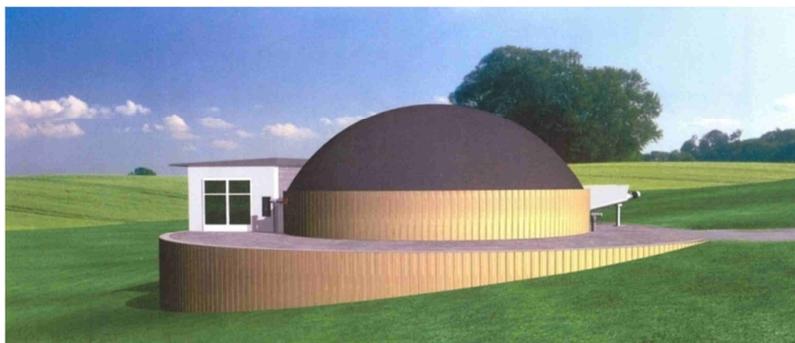


Figure 4-3 : Installation "Compact" proposée par la société Arnold.

Bio4gas (BERT)

Le concept Bio4gas pour les petites installations de biogaz à la ferme est né en Autriche avec un premier digesteur pilote installé dans le lycée agricole de Rotholz en 2006. En 2010, la société Bio4gas Express GmbH a vu le jour en Allemagne dans le but de commercialiser le système. De plus, des filiales (ou franchises) se sont développées en Italie, France, Afrique du Sud et plus récemment en Suisse où le concept est commercialisé par la société Mons Solar GmbH sous le nom Mons Bio4gas.

La première installation a été mise en service en juillet 2010 à Garmisch Partenkirchen en Allemagne (digesteur de 400 m³, CCF 50kW_{él}). Depuis, une vingtaine d'installations ont été construites principalement en Allemagne, 1 en Italie, 1 en France et 1 en Afrique du Sud.

Bio4gas propose un produit standard composé d'un digesteur appelé BERT (Bio4gas Express Reactor Technology) de type « tank in tank » et décline en 5 tailles: 200/300/400/500/600m³. Ce système est capable de traiter un gisement contenant jusqu'à 12% de MS.

Le brassage de la matière dans le digesteur se fait par un système breveté nommé le Thermo Gas Lift® (TGL), qui permet le brassage par convection, le chauffage et la désulfuration du biogaz par injection d'oxygène. On trouve un TGL dans le digesteur extérieur et un autre dans le digesteur interne. Le TGL est constitué d'un tube creux au milieu duquel le mélange peut circuler. Dans l'épaisseur du tube circule de l'eau chaude. Sur la hauteur du tube un gradient de température se met en place et initie une convection du mélange.

Comme chez beaucoup d'autres constructeurs l'alimentation des substrats se fait par pompage depuis une pré-fosse. Dans le cas d'une grande quantité de déchets solides, une trémie d'alimentation doseuse peut être proposée. Différentes puissance de CCF sont disponibles : 30, 40, 50 et 75 kW_{él}.

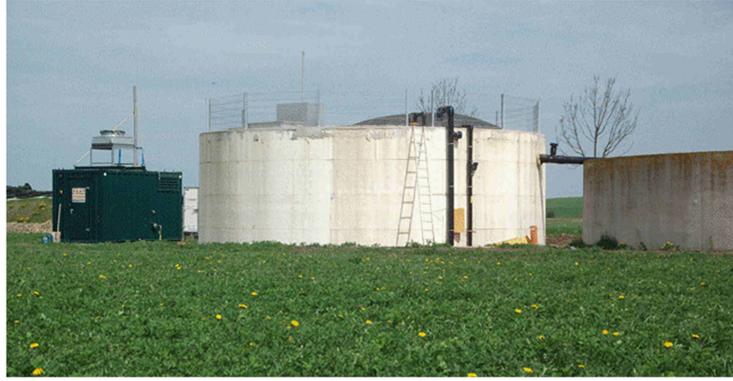


Figure 4-4 : Installation Bio4gas de 30 kW_{él} en Allemagne. [Source : www.bio4gas.eu]

Agrikomp (Güllewerk)

Agrikomp est un constructeur allemand à la renommée solidement affirmée. Ce leader de la méthanisation agricole a déjà construit plus de 550 installations en Europe et principalement en Allemagne, France, Italie et République Tchèque. Agrikomp possède des succursales dans plusieurs pays d'Europe (France, Italie, Irlande, Slovaquie, République Tchèque, Pologne, Royaume-Uni) ainsi qu'un représentant pour la Suisse.

Agrikomp propose des installations classiques de 100 kW_{él} à 2.5 MW_{él} avec digesteur en béton, ainsi que des installations modulaires en conteneur appelées Güllewerk de 30 à 120 kW_{él}. Le système Güllewerk a déjà été installé dans une vingtaine de fermes dont trois en Suisse à Wädenswil (ZH), Densbüren (AG) et Cournillens (FR). Le Güllewerk a gagné un prix en tant que nouveauté à la foire SuisseTier à Lucerne en 2011.

Güllewerk se présente comme une installation modulaire, pré-assemblée en usine et intégrée dans un conteneur de 18 x 3.5 x 3.5m déposée par camion grue sur site. Dans le conteneur on trouve un digesteur de 120 m³, en acier, de type piston, pouvant fonctionner en mode thermophile ou mésophile selon les besoins, ainsi que le système de pompage et de chauffage. Une pompe centrale assure une recirculation du digestat pour abaisser le taux de matière sèche du digesteur. Cette même pompe assure l'évacuation du digestat vers un post-digesteur. Le brassage est assuré par un système classique à pales. Le digestat est chauffé par un échangeur de chaleur avant l'entrée dans le digesteur et la paroi externe du digesteur est chauffée par des serpentins. Une trémie d'alimentation doseuse permettant d'introduire des substrats solides peut être installée en option. Le couplage chaleur-force (dual-fuel ou gaz) est installé dans un second conteneur dans l'axe du digesteur. On y retrouve également, le refroidisseur de biogaz et le système de commande de l'installation.



Figure 4-5 : Installation Güllewerk en Allemagne. [photo : EREP]

Schmack Biogas (EUCOLINO)

Schmack est un des leaders allemands des constructeurs de biogaz appartenant au groupe Viessmann depuis 2010. La société Schmack a été fondée en 1995 et depuis elle a construit plus de 250 installations à travers le monde, pour un total de plus de 100 MW. En 2011 Schmack a lancé son nouveau concept de petites installations en conteneur baptisé EUCOLINO. Initialement ce système était prévu pour des installations à partir de 18 kW_{él}, mais lors des derniers échanges la société s'est dite intéressée que par des systèmes à partir de 50 kW_{él}.

EUCOLINO est un digesteur modulaire en conteneur. Le digesteur est horizontal, en acier, de 200m³ assimilable à un digesteur piston traitant des déchets liquide et fonctionnant à température mésophile. Le brassage du digesteur est effectué par un brasseur lent avec des pâles en éventail. Les substrats liquides sont pompés à partir d'une pré-fosse dans le digesteur. Les substrats solides peuvent être soit incorporés via la pré-fosse, soit introduits à l'aide d'une trémie d'alimentation doseuse (en option).

Les systèmes de cogénération, de pompage, de chauffage et de commande sont disposés dans un autre conteneur appelé « AIO : All-In-One ». Ce module se connecte dans l'axe du digesteur.



Figure 4-6 : (à gauche) Station de dosage PASCO alimentant le digesteur EUCOLINO. (à droite) Conteneur « AIO ». [Source : Schmack Biogas.]

Pour l'instant, Schmack a déclaré ne pas souhaiter fournir une installation « clé-en-main » en Suisse mais se positionner uniquement pour livrer le module EUCOLINO avec son manuel technique.

Marches Biogas (Plug and Play)

Marches Biogas est une société d'ingénierie galloise spécialisée dans le consulting, la planification et le design d'installations de digestion anaérobie pour les industries, les STEP et l'agriculture. Ils ont mis au point un système de digestion « Plug and Play » de petite capacité et à bas coût.

Le digesteur « Plug and Play » de Marches Biogas est préfabriqué en usine, livré sur site et assemblé sur une dalle de béton. Suivant les besoins il peut être enterré. Le digesteur est une cuve cylindrique horizontale en fibre de verre et peut avoir un volume allant de 100 à 200m³. Le digesteur ayant un volume de digestion de 100 m³ mesure 10 mètres de long pour 4 mètres de diamètre. Il est possible de connecter deux digesteurs pour accroître la capacité de production. La phase liquide est introduite dans le digesteur par pompage depuis une pré-fosse. La phase solide est introduite à l'aide d'une trémie d'alimentation doseuse. Celle-ci est automatique mais doit être alimentée quotidiennement. Cette trémie permet de broyer le substrat solide et de le mélanger avec une recirculation de matière en fermentation. Cette opération est assimilée à une inoculation et permet d'abaisser la teneur en MS à 15% avant introduction.

Le mélange de la matière se fait par recirculation du biogaz au moyen de 18 buses qui sont fixées au fond du digesteur.



Figure 4-7 : Digesteur "Plug and Play" de Marches Biogas. [Source: Marches Biogas]

BioWaz

BioWaz Group AS est une jeune société norvégienne née en 2006 et basée à Oslo. La société a développé un système d'unités de méthanisation standardisées et modulaires qui a été breveté et enregistré sous la marque BioWaz®. Cette technologie est commercialisée actuellement en Norvège, Suède, Royaume Uni et Irlande. Depuis 2009, 5 installations BioWaz ont été construites (3 en Norvège et 2 en Suède)

BioWaz est un système modulaire utilisant un ou plusieurs digesteurs enterré(s). Les digesteurs sont construits par assemblage de modules préfabriqués en plastique à renfort de verre (« GRP : Glass Reinforced Plastic ») qui sont ensuite couverts à l'intérieur par une bâche en PVC. Le toit du digesteur est une double membrane également en PVC. Le chauffage du digesteur se fait par un système de canalisations au sol et le mélange est effectué par un brasseur à hélice immergé. BioWaz propose des digesteurs standardisés de plusieurs volumes : 130, 170, 200, 315 ou 550 m³. Deux personnes sont nécessaires pour assurer leur montage. Chaque installation BioWaz inclut un conteneur préfabriqué équipé d'un module de commande, du système de pompage, soupapes (électroniques/pneumatiques), moteur de cogénération (ou chaudière à gaz) et le système d'automatisation.



Figure 4-8 : En haut : Digesteur BioWaz® à Olpers Farm, Suède. En bas : Construction d'une installation BioWaz® à Tomb, Norvège. [Source : www.biowaz.com]

HoSt (Microferm)

HoSt est une société néerlandaise spécialisée dans la conception, l'ingénierie et la fourniture d'installations de production d'énergie à partir de biomasse. L'entreprise est également active en Allemagne, Italie, France, Royaume Uni et dans les pays de l'Est. HoSt a développé un procédé appelé Microferm qui est adapté à la méthanisation à la ferme en dessous de 100 kW_{éi}. HoSt possède de nombreuses réalisations d'installations de biogaz industrielles ou agricoles de grande taille. Concernant le procédé Microferm, quatre installations sont en fonctionnement aux Pays Bas (2), en France (1) et en Allemagne (1).

Le système Microferm se compose d'un digesteur vertical de 120 m³ (3.5 m diamètre, hauteur 12m) conçu pour un temps de séjour de 8 à 12 jours et d'un conteneur avec la

commande et le CCF. Le digesteur est préfabriqué et posé à l'aide d'une grue. Cela permet de réduire le temps de construction à 4 semaines.



Figure 4-9 : Installation Microferm en France. Source : www.host.nl

Bebra Biogas

BEBRA Biogas est une société allemande proposant des installations de biogaz entre 60 et 290 kW_{él.}. Elle possède une dizaine de références en Allemagne et est active également à l'international (référence en Corée du Sud notamment).

Le système BEBRA Compact est un système original composé d'un digesteur vertical en acier (environ 15 m de haut par 3.8 m de diamètre) avec des volumes de digestion compris entre 110-125 m³. La particularité de ce digesteur, en plus de ses dimensions, est son système d'homogénéisation de la matière car il n'y a aucun agitateur électromécanique. Pour mélanger les substrats à l'intérieur du digesteur, une pompe (située à l'extérieur du réservoir) transporte le substrat du fond du digesteur jusqu'à l'extrémité supérieure où il est déversé sur la surface du substrat créant ainsi une circulation de la matière.



Figure 4-10 : (à gauche) Digesteur vertical BEBRA Biogas. (à droite) Système de pompage sous le digesteur

Le digesteur fonctionne en mode thermophile à environ 52-55°C, ce qui permet une réduction du temps de séjour à environ 15 jours ainsi qu'une charge organique élevée. Le concept prévoit également une hydrolyse avant l'introduction dans le digesteur.

4biogas (NOVA)

L'entreprise développe des systèmes de biogaz en visant le marché des fermes de 60 à 150 UGB, sur la base d'un digesteur vertical en acier baptisé NOVA très semblable au système Bebra Compact, présenté ci-dessus. Depuis 2004, 4Biogas a construit 17 installations en Allemagne dans des puissances allant de 59 à 265 kW_{él.}. La majorité des installations sont alimentées avec un mélange de lisier et d'ensilage de maïs.

Le digesteur NOVA se décline en trois tailles : 110, 150 et 190 m³. Le digesteur le plus petit de 110 m³ mesure 15 m de haut pour 3.8 m de diamètre. Le digesteur fonctionne en mode thermophile à 52 °C, Le concept prévoit également des éléments de process optimisés

comme une hydrolyse avant l'introduction dans le digesteur ainsi qu'un système de filtration avant l'extraction du digestat (Selecta-Modul) afin d'augmenter le temps de séjour des matières solides dans le digesteur.

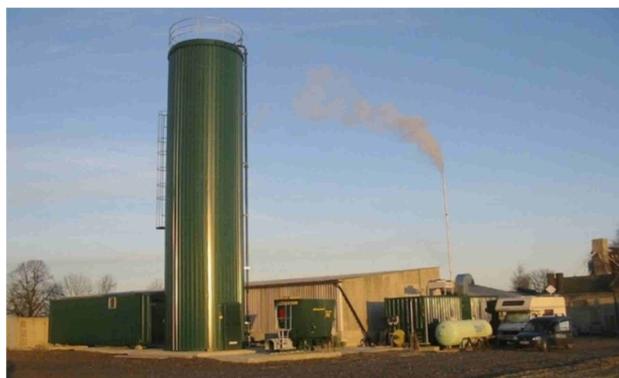


Figure 4-11 : Installation 4biogas en Allemagne. Source : www.4biogas.de

Une cuve de stockage du digestat devrait compléter l'installation, sur laquelle peut se réaliser le stockage du biogaz.

Energie-Anlage Röring (UDR Monotube)

Environ 20 installations ont déjà été construites avec le système « UDR Monotube » entre 2008 et 2012, et 7 installations étaient en construction ou commandées en 2013. La majorité des installations sont situées en Allemagne, et quelques-unes aux Pays-Bas et en Italie. Les puissances électriques de ces installations vont de 30 kW_{él} à 1.6 MW_{él}.

L'«UDR Monotube » est un digesteur vertical en acier fonctionnant sur le principe UDR (Upflow / Downflow / Reflow) et composé de 4 compartiments conçus pour optimiser la production de biogaz :

La matière entre par le bas du digesteur monotube et passe directement dans le **compartiment « Upflow »** qui est un réacteur à lit fixé composé de tubes spéciaux en plastique sur lesquels les bactéries sont immobilisées permettant une grande densité de biomasse active. Le substrat passe ensuite dans le **compartiment « Reflow »**, situé au-dessus et assimilé à un digesteur infiniment mélangé. Les matières qui ne sont pas tout à fait dégradées jusque-là, tendent à flotter et sont recirculées dans le compartiment « Upflow ». Les matières qui sont bien dégradées ont un poids spécifique relativement plus élevé et tendent à décanter. Avant de sortir du digesteur par la partie inférieure, la matière passe par le **compartiment « Downflow »** qui est aussi équipé par des tubes à biomasse fixée, où le potentiel résiduel est complètement dégradé. Le biogaz produit dans les trois compartiments précédents monte naturellement vers le **compartiment de stockage de gaz** depuis lequel, une conduite amène le biogaz aux équipements d'épuration puis au CCF. La particularité est que le gaz est maintenu à une pression de 100 à 500mbar, permettant un stockage de gaz d'environ 2h et évitant le besoin d'un surpresseur avant le CCF.



Figure 4-12 : Digesteur UDR Monotube. [Source : enCO2]

4.4 Technologies de petite méthanisation par voie solide

La digestion par voie solide à jusqu'à maintenant été presque exclusivement utilisée dans le cadre d'installations industrielles traitant des biodéchets ménagers ou de grandes quantités de cultures énergétiques. On peut par exemple mentionner les procédés Kompogas (digesteur piston continu) et Bekon, Bioferm et Kompoferm (batterie de digesteurs discontinu de type garage) qui sont bien établis sur le marché mais qui ne sont pas adaptés pour des gisements en-deçà de 10'000 tonnes/an.

Les constructeurs présentés ci-après ont développé (ou adapté) des procédés de méthanisation par voie solide à alimentation discontinue pour les rendre accessible à l'échelle d'une ferme. Selon le type de digesteur utilisé, ils peuvent être classifiés en trois catégories : digesteurs de type garage, digesteurs en bennes mobiles et digesteurs de type silo-couloir.

Toutes ces technologies requièrent une alimentation avec des substrats solides manipulables avec une chargeuse (fumiers pailleux, résidus de cultures, déchets verts, etc.) et un système de recirculation des liquides qui permettent de maintenir le substrat humide et à température soit par immersion soit par percolation.

4.4.1 Installations de type « garage »

Ce type d'installations est constitué par plusieurs digesteurs disposés en parallèle et fonctionnant de manière discontinue. Les déchets solides sont donc introduits dans chaque garage avec un engin (tracteur ou chargeuse), puis laissés en tas pendant environ 40 à 70 jours pour que la fermentation s'opère. Le jus qui s'écoule des tas (percolat) est récupéré et utilisé pour un arrosage de la matière afin de maintenir une humidité à l'intérieur du tas et de favoriser le développement bactérien nécessaire à la production de biogaz. Afin de maintenir la biomasse à une température constante et homogène, les digesteurs sont isolés et le percolat est réchauffé. Ce type d'installation comporte en général un minimum de 4 digesteurs qui sont alimentés avec un décalage de quelques jours afin de lisser les cycles de production de biogaz et pouvoir obtenir une production régulière durant toute l'année.

Les dernières années, on a vu l'offre pour ce type d'installations s'étoffer par la concurrence de plusieurs fournisseurs qui ont chacun leurs particularités et variantes. Le système de fermeture (porte étanche du garage) est un élément issu de développement technologique propre à chaque fournisseur et souvent breveté.

La société française **Méthajade** propose par exemple une installation avec des digesteurs en béton préfabriqués, ainsi que deux cuves de stockage de percolats, une avec du percolat « fort » et l'autre avec du percolat « tampon ». Lors de la conduite de l'installation il est possible de choisir la nature du percolat à circuler dans chaque garage selon le stade de fermentation à l'intérieur des digesteurs, ce qui constitue l'innovation principale du procédé Methajade. Actuellement deux installations sont en fonctionnement et 3 autres en phase de construction en France.



Figure 4-13 : Installation Methajade lors de la construction. [Photo: EREP]

Un autre exemple de digesteur garage est le procédé SMARTFERM qui est une variante compacte et semi-mobile du procédé KOMPOFERM® développé par la société allemande **Eggersmann Anlagenbau**. Les digesteurs sont constitués de conteneurs métalliques pré-assemblés en usine et posés sur une construction en béton qui intègre le stockage de percolat enterré. Le tout est surmonté d'une bâche permettant le stockage du biogaz. Avec 4 digesteurs l'installation permet de traiter environ 3'000 à 3'600 t/an et permet un stockage de biogaz d'environ 400 m³. L'espace utilisé par les digesteurs est d'environ 18.5 x 15 m.



Figure 4-14 : Installation SMARTFERM à Bad Oeynhausen en Allemagne. [Photo: EREP]

Dans les pays voisins d'autres constructeurs proposent également des systèmes similaires : Enbea Bots et DeNaBa en Allemagne, ainsi que MOBIGAS en Autriche. En Suisse la société Renergon s'est lancée également dans ce segment de la méthanisation à la ferme avec le système RSD-Mini, composé de digesteurs en conteneurs de 48 m³.



Figure 4-15 : Schéma d'une installation RSD-Mini. [Source: Renergon]

4.4.2 Installations de méthanisation en bennes mobiles

La société Erigène, basée en France est née en 2009 dans le but de commercialiser le procédé Eribox composé de bennes mobiles, isolées, équipées d'un système de percolation. Chaque digesteur comporte une porte latérale pour le vidage par « bennage » et une toiture amovible avec passe-fourche (voir photos). Le système est complété par une cuve de percolation module de commande abritant l'automate programmable qui permet de piloter pour chaque digesteur la température, l'injection d'air, la circulation du percolat et de mesurer la production de biogaz. Ce conteneur abrite également la pompe centrale du circuit de percolation. Finalement, un kit de connexion qui fait la jonction entre le module de commande et chaque digesteur en ce qui concerne le réseau de percolat, le réseau d'eau chaude et le réseau biogaz.



Figure 4-16 : Photos du chargement et vidage d'un digesteur Eribox. [Source : Erigène]

Un autre exemple de digesteur mobile est le système Portagester développé par la société Bioplex en Angleterre.



Figure 4-17 : Différentes tailles de Portagester. [Source: Bioplex]

4.4.3 Digesteurs en silo-couloir

Ce type d'installation se compose de plusieurs digesteurs en forme de silos couloirs, isolés, étanches et surmontés d'une couverture amovible. Les substrats solides sont introduits avec une chargeuse. Le substrat est aspergé par du digestat liquide. En fin de cycle, la couverture est ouverte. Le digestat solide est égoutté et évacué et le liquide restant est récupéré pour un autre cycle.

Il existe plusieurs installations construites sur ce principe en France, dont la plus connue est l'installation du GAEC du Bois-Joly, souvent présentée en tant que référence et ayant fait l'objet d'un suivi d'exploitation. Cette installation comprend 4 digesteurs et une puissance de 30 kW_{él.}

Ce type d'installation est proposé en France par plusieurs sociétés tel que ARIA Energies, AgriMetha et Biocité et S2Watt. En Allemagne la compagnie Chiemgauer Biogasanlage possède plusieurs références également.



Figure 4-18 : Installation du GAEC de Bois-Joly (France). [Photo: EREP]

5. Définition des caractéristiques de petites installations de biogaz adaptées aux exploitations agricoles représentatives

5.1 Définition des caractéristiques d'une petite installation représentative

La petite installation de biogaz représentative pour la situation suisse est spécifiée dans ce paragraphe en définissant les paramètres suivants :

- 1) La puissance électrique générée par l'unité de couplage-chaleur-force (CCF)
- 2) Les types et quantités de matières traitées
- 3) La technologie de digestion
- 4) Le niveau d'automatisation et la qualité des équipements

5.1.1 Définition de la puissance électrique type

Les résultats de l'identification et de la description du marché des constructeurs montrent que l'interprétation du terme petite installation de biogaz est assez large : la petite installation allemande aura, par exemple, une puissance à 75 kW_{él}.

Généralement on retrouve des puissances à partir de 50 kW_{él}. Le recensement a également montré que de plus en plus de constructeurs proposent des systèmes à partir de 30 kW_{él}. En revanche, en-dessous de 20 kW_{él}, voire en-dessous de 10 kW_{él} très peu de fournisseurs sont présents.

On ne retrouve pratiquement pas de fournisseurs d'installations en-dessous de 6 kW_{él}, plage dans laquelle se situe le potentiel majeur de production dans de petites installations individuelles de biogaz agricole, en Suisse.

Les installations que l'on retrouve pour les petites puissances électriques, sont principalement conçues pour traiter du lisier seul, développant des systèmes plus simples à gérer au niveau du transfert des substrats, du brassage du digesteur et du stockage du digestat par exemple. Les grandes exploitations agricoles pouvant alimenter une telle installation disposent dans la plupart des cas de stockages existants pour le digestat, ce qui réduit les coûts d'investissements.

Les exploitations produisant uniquement du lisier ne concernent, pour la Suisse, qu'un peu moins de la moitié des exploitations agricoles bovines (cf. § 3.3.6). Elles sont également minoritaires pour ce qui concerne les exploitations porcines (cf. §3.4.6).

Compte tenu des types de matières à traiter et du retour d'expérience en Europe sur des petites installations de biogaz il sera pertinent de ne se fier qu'à des systèmes, pour lesquels actuellement un nombre représentatif de références sont en fonctionnement et qui sont capables de traiter des mélanges lisier – fumier.

Il apparaît nécessaire et évident de combiner les substrats agricoles de quelques exploitations afin d'atteindre des puissances électriques plus importantes. On pourrait ainsi envisager de créer une petite installation de biogaz collective regroupant plusieurs exploitations agricoles, afin de rester à un niveau collectif raisonnable, à l'échelle d'un village, minimisant le transport des substrats et des digestats.

On a ainsi choisi d'évaluer une installation d'une **puissance électrique de 25 kW**.

5.1.2 Définition des types et quantités de matières méthanisables à traiter

Un argument important pour le choix d'une petite installation de biogaz agricole est de pouvoir valoriser les substrats propres à l'exploitation et d'être le plus indépendant possible des cosubstrats non agricoles.

L'installation de biogaz ainsi visée ne traiterait que des substrats agricoles, constitués des engrais de ferme complétés par d'autres substrats agricoles, tels que les cultures intermédiaires et de la menue paille.

La quantité de matières méthanisables à traiter est un facteur déterminant pour le dimensionnement des différents ouvrages et équipements constituant l'installation de biogaz.

Elle a été calculée comme correspondant à la moyenne pondérée basée sur toutes les exploitations agricoles. Les types de stabulation et les quantités d'autres substrats agricoles sont tous confondus.

On a calculé, pour chaque zone agricole, la quantité et la puissance moyennes, les deux pondérées par le nombre d'exploitations agricoles. Par la suite, la quantité pour alimenter un CCF de 25 kW_{él} a été quantifiée.

Le résultat par zone agricole et par type d'animal est présenté au tableau 5-1.

La quantité moyenne pondérée par le nombre d'exploitations pour pouvoir alimenter un CCF d'une puissance de 25 kW_{él} serait de 5'802 tonnes pour les exploitations bovines et de 2'502 tonnes pour des exploitations porcines.

La différence entre les types d'élevage est plutôt due aux quantités importantes d'eaux usées générées par les exploitations bovines et surtout celles détentrices de vaches laitières.

Tableau 5-1 : Évaluation des quantités moyennes afin de pouvoir alimenter une installation de biogaz de 25 kW_{él}

Type d'exploitation	Zone agricole	Nb. d'exploitations [-]	Puissance moyenne CCF [kW _{él}]	Qt. moyenne [t]	Qt. pour 25 kW _{él} [t]
Exploitations bovines	ZP	15'618	4.3	807	4'648
	ZC	6'715	3.0	690	5'794
	ZMI	6'730	2.8	687	6'169
	ZMII	7'931	2.4	626	6'616
	ZMIII	4'591	1.8	515	7'094
	ZMIV	1'867	1.5	466	7'522
Quantité moyenne pondérée					5'802
Exploitations porcines	ZP	4'779	4.1	397	2'413
	ZC	2'034	2.3	238	2'603
	ZMI	1'699	1.6	158	2'508
	ZMII	1'378	1.2	123	2'644
	ZMIII	275	0.5	50	2'527
	ZMIV	70	0.4	42	2'573
Quantité moyenne pondérée					2'502

Une installation de biogaz de 25 kW_{él} en zone de plaine valorisant principalement des substrats agricoles issus des exploitations bovines, traiterait une quantité inférieure à celle d'une installation d'une même puissance électrique en zone de montagne.

Cette différence est due à la diminution de la quantité d'autres substrats et à l'augmentation plus que proportionnelle de la quantité d'engrais de ferme nécessaire pour pouvoir atteindre la même puissance électrique. Les engrais ont simplement un potentiel méthanogène inférieur par rapport aux autres substrats agricoles, surtout les lisiers.

La différence pour des exploitations porcines est beaucoup moins prononcée.

Si on considère la quantité moyenne pondérée des exploitations bovines et porcines combinées pour produire 25 kW_{él}, elle s'élève à **5'175 tonnes** par an.

5.1.3 Définition de la technologie de digestion

Au cœur de l'installation de biogaz se trouve l'unité de digestion, enceinte dans laquelle se déroule le processus biologique de conversion de la matière organique en biogaz et en digestat. La technologie de digestion est définie à partir des caractéristiques des matières à méthaniser.

Les technologies mises en œuvre pour la digestion d'engrais de ferme et de cosubstrats agricoles, agro-industriels ou autres sont classées en trois catégories :

- la digestion en phase liquide dans des digesteurs (aussi appelés fermenteurs) de type infiniment mélangé ;
- la digestion en phase solide dans des digesteurs (ou fermenteurs) alimentés en continu de type à flux piston (en anglais "plug-flow") ;
- la digestion en phase solide dans des batteries de plusieurs digesteurs (ou fermenteurs) de type silo-couloir / fosse ou de type garage/ box, alimentés en mode discontinu (on parle aussi de systèmes "batch" ou par charges alternées) ;

Ce sont les caractéristiques de siccité du mélange d'intrants et de la présence ou non des matières structurantes qui définissent le type de digesteur à utiliser. Le tableau 5-2 les montre.

Tableau 5-2 : Caractéristiques des technologies de digestion (adaptation de plusieurs sources par EREP)

Type de digestion	Digestion en phase liquide	Digestion en phase solide		
	Alimentation continue	Alimentation <u>dis</u> continue		
		Digesteurs de type infiniment mélangé	Digesteurs de type piston	Digesteurs entérés type silo-couloir / fosse
Exigences taux de matières sèches du mélange entrant	Taux de MS < 15% ou un taux de MS à l'intérieur du digesteur d'au maximum 11-12%	Taux de MS entre 20 - 35%	Taux de MS > 35 - 40 ou > 25% pourvu qu'assez de matières structurantes soient présentes.	Taux de MS > 35 - 40 ou > 25% pourvu qu'assez de matières structurantes soient présentes.
Milieu de digestion	liquide	"solide"	"solide"	"solide"
Structure du mélange à l'intérieur du digesteur	liquide, peu de matières fibreuses	pâteuse, beaucoup de matières fibreuses	pâteuse, beaucoup de matières fibreuses et structurantes	matières fibreuses et structurantes, mélange pelletable

La siccité du mélange entrant a ensuite été calculée en appliquant les taux de MS suivants, spécifiques à chaque substrat utilisé :

Tableau 5-3 : Taux de matières sèches des différents substrats agricoles utilisés (Agridea, 2013)

Substrat	Taux de MS [% de MF]
Lisier vaches-laitières	9
Lisier vaches-mères	9
Purin	7.5
Fumier logettes / entravé	19
Fumier couche profonde	20
Lisier de porc, engrais	5
Lisier de porc, élevage	5
Fumier de porc	27
Cultures intercalaires	20
Menue paille de blé	89.1

Le résultat des mélanges entrants est présenté au tableau 5-4. Le taux de MS moyen du mélange de substrats entrant en digestion est évalué à 7.1% pour les exploitations bovines et à 12.6% pour les exploitations porcines. Le taux de MS moyen du mélange des intrants de toutes les exploitations bovines et porcines combinées s'élève à 8.1%.

La seule technologie apte à traiter ce mélange moyen de substrats est celle de **l'infiniment mélangé**.

Certes, un certain nombre d'exploitations porcines disposent d'un gisement de substrats agricoles dont la siccité approche les 20%, voire plus, (cf. tableau 5-4), mais il faudra toujours mélanger et donc diluer ces substrats avec ceux d'autres exploitations, dont des exploitations bovines, afin de concevoir une installation de 25 kW_{él}.

Tableau 5-4 : Taux de matières sèches du mélange de substrats entrant en digestion

Type d'exploitation	Zone agricole	Nb. d'exploitations [-]	Taux de MS moyen [%]	Taux de MS Max [%]
Exploitations bovines	ZP	15'617.6	8.1	14.1
	ZC	6'715	7.0	13.5
	ZMI	6'729.9	6.7	12.8
	ZMII	7'931	6.4	12.1
	ZMIII	4'591	6.1	11.6
	ZMIV	1'867	5.9	12.3
Taux de MS moyenne pondérée			7.1	
Exploitations porcines	ZP	4'779.0	12.8	18.8 (47) ¹
	ZC	2'034	12.2	19.9 (8)
	ZMI	1'699.0	12.7	24.1 (3)
	ZMII	1'378	12.2	17.2
	ZMIII	275	12.9	24.3
	ZMIV	70	12.2	20.9
Taux de MS moyenne pondérée			12.6	

¹ Nombre d'exploitations à ce taux de MS élevé

5.1.4 Définition du niveau d'automatisation et de qualité

Quelle que soit sa taille, une installation de biogaz requiert l'utilisation de main d'œuvre. Cette pratique permet à l'agriculteur de diversifier ses activités et de créer des revenus complémentaires et stables, mais une charge trop importante de travail pourrait mettre en péril la rentabilité de l'installation et surchargerait les tâches de base de l'agriculteur.

Il est important que l'installation de biogaz puisse fonctionner de façon autonome et sans trop de pannes et que les interventions de l'agriculteur soient limitées à la gestion des substrats et au fonctionnement de l'installation.

Un degré minimal d'automatisation et de qualité des équipements doit être prévu. Ceci nécessite, par exemple, un contrôle des niveaux dans les cuves, le transfert automatisé des liquides par pompage, une gestion automatisée de la valorisation du biogaz.

De plus, l'installation doit être capable de fonctionner avec un mélange de lisiers, mais aussi de fumiers et d'autres substrats secs, nécessitant une certaine efficacité de brassage, afin d'homogénéiser la masse et d'éviter la formation de croûtes flottantes ou la décantation de matières.

5.2 Dimensionnement d'une installation type

L'installation type à développer aura une puissance de 25 kW_{él}, et traitera environ 5'175 tonnes de matières fraîches par an, dans un digesteur de type infiniment mélangé.

Le schéma conceptuel de l'installation ainsi que le dimensionnement des principaux ouvrages est montré à la figure 5-1 suivante.

Les lisiers et les purins sont stockés dans les fosses existantes en attendant leur transfert vers le digesteur. La capacité de stockage existante serait disponible pour stocker les engrais de ferme liquides afin d'en avoir à disposition pour alimenter l'installation de biogaz lors des mois d'été, lorsqu'on récupère moins d'engrais de ferme (pâture/ estivage).

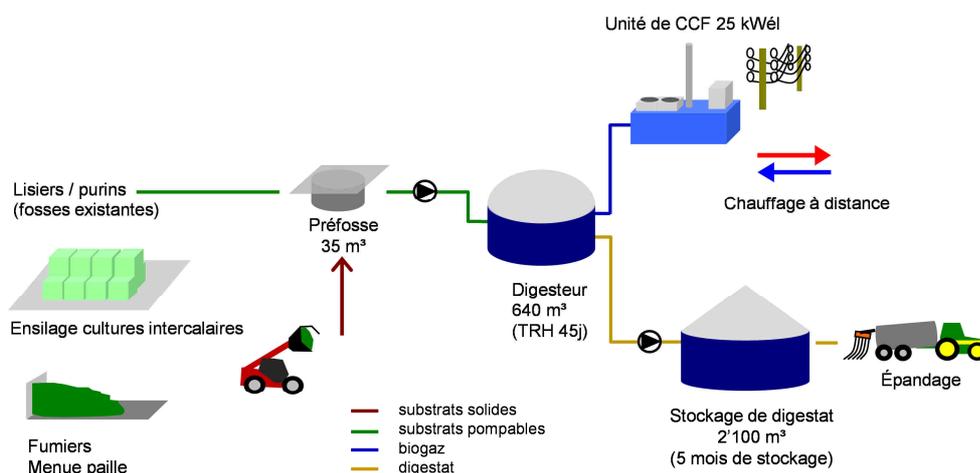


Figure 5-1 : Schéma conceptuel de l'installation de biogaz

Les fumiers et la menue paille sont stockés sur des places existantes en attendant leur incorporation dans le digesteur.

Les cultures intermédiaires sont ensilées en balles ce qui simplifie leur stockage par comparaison à un silo tranchée.

Compte tenu du taux de matières sèches relativement faible du mélange de substrats, il est admis d'alimenter le digesteur en intrants secs via la préfosse (volume 35 m³, assurant 2.5 jours d'alimentation). Les substrats solides sont d'abord mélangés avec les lisiers / purins afin de créer un mélange qui, au moyen d'une pompe, sera transféré vers le digesteur.

Cette méthode d'introduction des matières solides permettra d'éviter l'utilisation d'une trémie d'insertion et donc de simplifier l'installation de biogaz.

Le digesteur de 640 m³, de type infiniment mélangé, classique en biogaz agricole, est dimensionné pour un temps de séjour de 45 jours. Le digestat, ayant un faible taux de MS, il pourra être épandu à l'état liquide et donc une séparation de phases n'est pas prévue. Il est stocké dans une cuve couverte afin de réduire les émissions de composants volatils, tels l'ammoniac. Une durée de stockage de 5 mois est prévue, suivant les préconisations du module « Constructions rurales et protection de l'environnement » (OFEV, 2012). Le volume nécessaire est ainsi dimensionné à 2'100 m³.

Le contenu énergétique du biogaz produit se monte à 666'700 kWh. Valorisé dans un CCF, il permettrait de produire 200'000 kWh d'électricité et 353'300 kWh de chaleur. Après déduction de l'autoconsommation électrique (estimée à 15% de la production) et thermique (estimée à 60% de la production), 170'000 kWh d'électricité sont injectés dans le réseau électrique et 141'300 kWh de chaleur sont disponibles pour une valorisation externe à l'installation de biogaz.

Il est admis que 20% de la quantité totale de chaleur produite, à savoir 70'660 kWh, serait valorisée en externe. Ce pourcentage correspond à l'exigence minimale pour obtenir un bonus chaleur dans le cadre de la définition du prix d'achat d'électricité selon la RPC.

Il faut quand même noter qu'en raison d'une production thermique relativement faible, lors des mois d'hiver, presque toute chaleur produite sera utilisée pour chauffer le digesteur. Il est donc nécessaire de trouver des consommateurs de chaleur durant des mois d'été, comme par exemple du séchage (fourrage, copeaux de bois), permettant d'optimiser la valorisation de l'énergie produite.

En comparant l'installation telle que définie avec les systèmes proposés sur le marché suisse, on observe que les constructeurs pourraient proposer le type d'installation recherché.

6. Analyse économique de la faisabilité de petites installations de biogaz, en Suisse

Ce chapitre présente l'analyse économique de l'installation de petite méthanisation type définie au chapitre 5. Le but est de déterminer le prix de revient de la production d'électricité pour lequel un équilibre financier pourrait être obtenu.

6.1 Coûts d'investissement

On a d'abord estimé les coûts d'investissement d'une telle installation.

Ces coûts relatifs aux différents ouvrages et équipements constituant l'installation ont été évalués en appliquant des ratios et données provenant de projets comparables ainsi que sur la base d'une consultation de quelques fournisseurs pour les ouvrages et équipements liés à la méthanisation.

Les différents postes constituant l'installation de biogaz sont détaillés à l'annexe 2. Au total les coûts d'investissement s'élèvent à CHF 860'000.

La répartition des investissements selon les différents postes est visualisée à la figure ci-dessous.

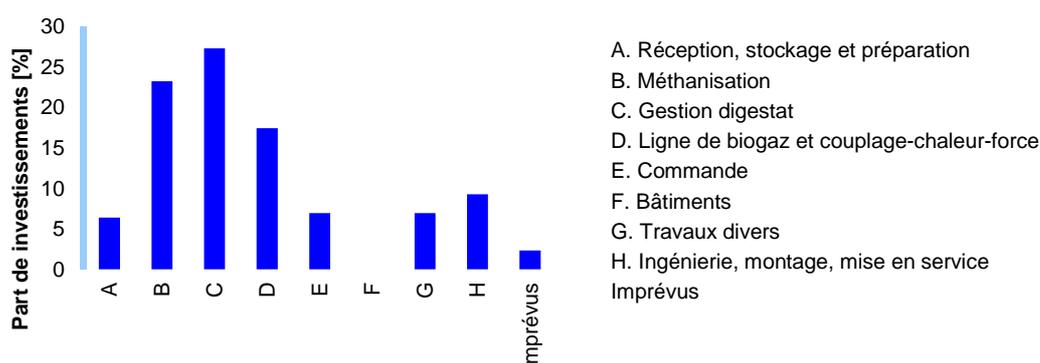


Figure 6-1 : Répartition des différents postes d'investissement total.

Il n'y a pas de coûts prévus pour les stockages des intrants parce qu'il est admis que l'exploitation agricole dispose déjà de stockages suffisants pour les engrais de ferme. L'ensilage des cultures dérobées se fait en bales qui pourraient facilement être stockées. Les coûts d'ensilage sont pris en compte dans les frais d'exploitation (cf. § 6.2).

Les trois postes les plus importants sont : [B] Méthanisation, [C] Gestion du digestat et [D] Ligne de biogaz et CCF.

Le stockage de digestat représente une part importante, de l'ordre de 27%, des coûts totaux d'investissement. Selon l'exploitation agricole accueillant l'installation de biogaz une cuve de stockage pourrait déjà être disponible. Cela pourrait notamment être le cas pour des grandes exploitations produisant uniquement des lisiers.

Il faut noter que les coûts de construction d'une petite unité de biogaz sont élevés. Les mêmes ouvrages permettraient, en digérant un mélange de substrats plus méthanogènes (par exemple avec des cosubstrats) de produire et de valoriser plus de biogaz, pour des coûts d'investissement presque équivalents. C'est le résultat du choix consistant à n'utiliser que les substrats agricoles propres à l'exploitation.

6.2 Analyse économique

Pour l'analyse économique quatre postes ont été évalués : 1) les frais d'exploitation, 2) l'amortissement, 3) le financement et 4) les recettes.

Les détails sur les différents postes sont présentés à l'annexe 2. Le tableau 6-1 montre le résultat.

Tableau 6-1 : Analyse économique

Poste	Montant
Frais d'exploitation	CHF 52'040
Amortissement	CHF 60'000
Financement (intérêts)	CHF 10'500
Recettes (hors vente électricité)	CHF 12'240

Les coûts pour les cultures intermédiaires (cf. annexe 2) sont compris dans les frais d'exploitation.

Ces coûts pour la récolte et l'ensilage sont assez élevés, mais néanmoins, ce gisement contribue pour environ 25% à la production totale de biogaz. De plus, ces charges sont rémunérées pour l'exploitant parce que, hors des coûts pour le fonctionnement des machines et du matériel, l'agriculteur est rémunéré pour son travail. Indirectement ce sont des revenus pour l'exploitation agricole.

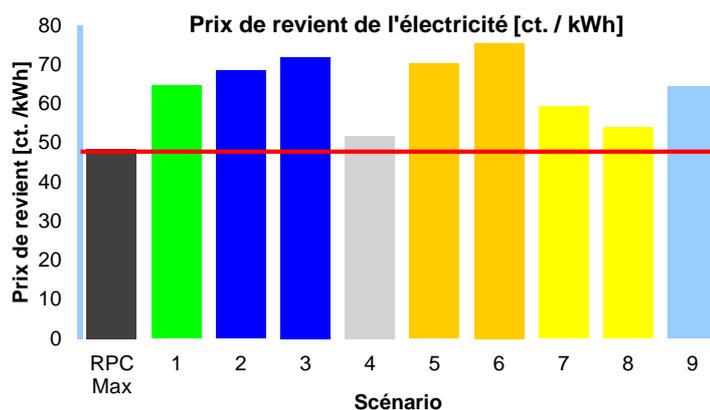
La majeure partie des recettes à encaisser est issue de la vente de l'électricité. Le prix de revient pour lequel un résultat après remboursement en équilibre pourrait être obtenu a été estimé.

Le prix de revient de la production d'électricité devrait atteindre une valeur de **64.6 ct. / kWh** afin de trouver un équilibre financier. Cela correspond à une augmentation de 33% du tarif RPC maximal actuel.

La sensibilité du prix de revient aux variations des coûts d'investissement, des recettes et des entrants a été analysée. Elle est présentée au tableau 6-2 et visualisée à la figure 6-2.

Tableau 6-2 : Prix de revient sur la vente de l'électricité

Paramètres variés	Prix de revient [ct. CHF / kWh]
Tarif maximal RPC	48.5
1 Coûts d'investissement tels que définis (cf. § 6.1) Recettes telles que définies (cf. § 6.2.4)	64.6
2 Sans recettes sur la vente de la chaleur	68.4
3 Sans recettes sur la vente de la chaleur ni sur celle des certificats CO ₂	71.8
4 Investissements sans cuve de digestat	51.7
5 Coûts d'investissement +10%	70.1
6 Coûts d'investissement +20%	75.4
7 Coûts d'investissement -10%	59.2
8 Coûts d'investissement -20%	53.9
9 Traitement seuls des engrais de ferme, hors autres substrats agricoles	64.3



1	Coûts d'investissement et recettes tels que définis
2	Sans recettes sur la vente de la chaleur
3	Sans recettes sur la vente de la chaleur ni sur celle des certificats CO ₂
4	Investissements sans cuve de digestat
5	Coûts d'investissement +10%
6	Coûts d'investissement +20%
7	Coûts d'investissement -10%
8	Coûts d'investissement -20%
9	Traitement les engrais de ferme seuls, hors autres substrats agricoles

Figure 6-2 : Prix de revient de l'électricité pour les différents scénarii

En l'absence de vente de la chaleur produite et de possibilités de négocier des certificats CO₂ le prix de revient grimperait pour atteindre une valeur de 71.8 ct. / kWh.

Le stockage de digestat représente une part importante (27%) des coûts totaux d'investissement. Suivant l'exploitation agricole accueillant l'installation de biogaz une cuve de stockage pourrait être déjà disponible. Dans ce cas, les investissements se réduisent. Le scénario 4 montre ainsi l'effet d'un stockage déjà présent sur le prix de revient. Une baisse de 12.9 ct ou de 20% par rapport au prix du scénario de base pourrait être réalisée. Le prix de revient est estimé à 51.7 ct. / kWh, non loin du tarif maximal de la RPC actuellement en vigueur.

Une augmentation des coûts d'investissement ferait grimper logiquement le prix de revient de l'électricité pour atteindre l'équilibre financier. Une hausse de 10% des coûts d'investissement nécessiterait une augmentation du prix de revient de 8.5%, une hausse de 20% ferait bondir le prix de revient à 75.4 ct. / kWh (+16.7%). Au contraire, une baisse des coûts de construction de l'installation de biogaz, permettrait de réduire le prix de revient dans les mêmes proportions. (-8.3% pour une réduction des coûts de 10% et de -16.5% pour une baisse des investissements de 20%).

Les coûts pour la récolte et l'ensilage des cultures intermédiaires étant élevés, une variante a été évaluée consistant en une installation de biogaz ne traitant que des engrais de ferme. Les détails de cette analyse sont présentés à l'annexe 3.

L'installation traitera 6'165 au lieu de 5'175 tonnes. La taille des ouvrages étant plus importante, les coûts d'investissement augmenteraient pour atteindre un montant estimé à CHF 950'000.

Malgré un investissement plus important, le prix de revient de l'électricité serait légèrement inférieur à l'installation type définie, pour atteindre **64.3 ct. / kWh**.

7. Conclusions et recommandations

7.1 Production d'engrais de ferme

La production d'engrais de ferme des exploitations bovines et porcines, en Suisse, évaluée par cette étude, est estimée à 18.6 millions de tonnes par an.

Cette valeur se situe entre les chiffres annoncés de 16.6 mio. de tonnes exprimés par AgroCleanTech (AgroCleanTech, 2012) et de 21.5 mio. de tonnes par Nova Energie (Nova Energie, 2010).

7.2 Potentiel de production de biogaz

7.2.1 Potentiel global

La transformation en biogaz de la totalité des substrats, mis en évidence dans cette étude, correspondrait à une production totale de : **4'409 GWh**, dont **3'391 GWh** sont issus des engrais de ferme.

La quantité de biogaz produite par les 89 installations de biogaz agricole recensées en Suisse a atteint une valeur de 187 GWh pour l'année 2012 (Eicher+Pauli AG, 2013). La production actuelle totale de biogaz, en additionnant également les biogaz industriels et les biogaz de STEP, s'élève quant à elle 939 GWh.

La quantité de biogaz actuellement produite par des installations de biogaz agricole en Suisse ne constitue **que 4.2% du potentiel évalué.**

7.2.2 Potentiel de puissance électrique des installations

Les résultats de cette étude montrent que le potentiel de développement du biogaz à l'échelle d'une exploitation agricole qui valoriserait uniquement ses propres substrats, concerne essentiellement des installations de très petite capacité.

Pour la grande majorité d'entre-elles la production électrique équivaldrait à une puissance électrique située entre 1 et 6 kW_{él.}

L'exploitation bovine moyenne a un cheptel de 27 UGB, produisant 750 tonnes de substrats agricole par an. Ces substrats permettraient d'alimenter un couplage-chaleur-force de 3 kW_{él.}

L'exploitation porcine moyenne dispose d'un effectif moyen de 245 truies et porcelets ou de 115 porcs à l'engrais, produit 265 tonnes de substrats agricoles par an. Cette quantité pourrait alimenter une unité de CCF de 2.3 kW_{él.}

Ces chiffres représentent la moyenne suisse, toutes zones agricoles confondues. Il faut quand-même remarquer qu'en zone de plaine la taille moyenne des exploitations est bien en-dessus de ces valeurs, et que dans la zone des collines elle correspond à la moyenne, alors qu'en zones de montagne elle se situe au-dessous.

7.3 Identification du marché des constructeurs

Au vu de la situation du marché des installations proposées par les différents constructeurs suisses et européens, il ressort qu'il n'existe pas encore de retour d'expérience suffisant concernant des installations répondant aux critères et aux caractéristiques de la majorité des exploitations agricoles suisses.

En-dessous d'une puissance de 6 kW_{él.}, il n'y a pratiquement aucune offre technologique disponible.

7.4 Définition des caractéristiques de petites installations représentatives

Compte tenu des types de matières à traiter et des expériences recensées en Europe sur des petites installations de biogaz, il sera pertinent de se référer à des systèmes disposant un nombre de références suffisamment représentatives et capables de traiter des mélanges de lisier et de fumier.

Dans cette étude, il a été choisi de combiner les substrats agricoles de plusieurs exploitations afin de proposer une installation d'une taille plus pertinente de 25 kW_{él}. Une installation de cette taille ne peut se réaliser que si elle résulte d'une initiative collective et donc de la collaboration entre plusieurs agriculteurs, ce qui peut par exemple être réalisable à l'échelle d'une commune. La réalisation de projets collectifs n'est pas inconnue ; il en existe déjà un certain nombre regroupant plusieurs agriculteurs.

La petite installation de biogaz type pour la Suisse ressemblerait à une installation de biogaz agricole telle qu'on la rencontre actuellement.

La différence fondamentale par rapport à la situation existante du biogaz agricole se situe dans la part des cosubstrats, qui, pour la petite méthanisation telle qu'évaluée dans cette étude, n'est constituée que par des substrats agricoles.

L'utilisation des seuls cosubstrats agricoles, tels que les cultures intermédiaires et la menue paille, permettrait une orientation vers un système de production de biogaz autonome assurant la disponibilité des substrats à long terme.

Un désavantage de l'utilisation de cultures intermédiaires et de menue paille produites sur l'exploitation est la faible contribution de ces substrats dans la production totale de biogaz d'une installation.

La rentabilité des installations de biogaz agricole dépend actuellement de l'apport de cosubstrats bien méthanogènes en complément au gisement de base, constitué par des engrais de ferme.

Cet état de fait a pour conséquence que pour atteindre une puissance électrique équivalente, il faut, pour les cas de figure retenus dans cette étude, relativement plus de substrats agricoles que lorsqu'on incorpore des cosubstrats à fort potentiel méthanogène, mais extérieurs à l'exploitation.

L'installation type de 25 kW_{él} telle que définie dans le présent rapport traiterait la même quantité qu'une installation codigérant des substrats à fort potentiel méthanogène, alimentant un CCF d'une puissance de 75 kW_{él}, voire plus.

Il faut également noter qu'en raison de la production thermique relativement faible, lors des mois d'hiver, presque toute la chaleur produite sera utilisée pour chauffer le digesteur.

Il n'y a de ce fait que peu, voire pas de possibilités de valoriser la chaleur lors des mois d'hiver pour chauffer des habitations, par exemple.

Il est donc nécessaire de trouver des consommateurs de chaleur durant des mois d'été, comme par exemple du séchage de produits (bois, fourrages, etc.)

7.5 Analyse économique de la faisabilité de petites installations

Comparés aux installations de biogaz agricole actuelles, les coûts d'investissement sont relativement importants, même en utilisant les infrastructures de stockage d'engrais de ferme existantes.

Le stockage du digestat représente une part importante, de l'ordre de 27%, des coûts d'investissement. Selon l'exploitation agricole accueillant l'installation de biogaz, une cuve de stockage pourrait déjà être disponible, permettant une réduction des investissements.

Les trois postes principaux des frais d'exploitation sont constitués par : 1) les réparations et entretien de l'installation, 2) les coûts pour la mise à disposition des cultures intermédiaires et 3) les frais de transport.

Le premier poste est en rapport avec une installation d'une telle taille.

Les frais de transport et de mise à disposition des cultures sont certes importants, mais ils intègrent également une rémunération du travail effectué par l'agriculteur. Indirectement on peut les considérer comme des revenus pour l'exploitation agricole.

Néanmoins, il est nécessaire de veiller à ce que ces coûts ne deviennent pas trop importants, ce qui pourrait mettre en péril la rentabilité du projet.

Concernant les coûts des cultures intermédiaires il faut être attentif au montant qu'ils représentent par rapport à leur rendement par hectare et donc par rapport aux recettes issues de la valorisation du biogaz qu'on peut en attendre. Les rendements sont sujets à des fluctuations relativement importantes suivant la période de récolte et selon les conditions géographiques et météorologiques présentes.

Les coûts pour la récolte et l'ensilage des cultures intermédiaires sont relativement élevés. Ces charges sont rémunérées pour l'exploitant parce que, hors des coûts pour le fonctionnement des machines et du matériel, l'exploitant-agriculteur est rémunéré pour son travail. Indirectement ce sont des revenus pour l'exploitation agricole.

Le prix de revient de la production d'électricité pour lequel un équilibre financier pourrait être atteint se situe à une valeur de **64.6 ct. / kWh_{ét}**, soit 33% au-dessus du tarif RPC maximal actuel.

Malgré un investissement plus important, le prix de revient de l'électricité d'une installation traitant uniquement des engrais de ferme, est légèrement inférieur à l'installation type définie, grâce à l'économie sur les coûts des cultures.

Néanmoins, dans la situation présente, l'installation type de petite méthanisation n'est pas rentable.

Une récupération d'une cuve de stockage existante pour pouvoir stocker du digestat permettrait de réduire le prix de revient et d'approcher le tarif RPC maximal.

C'est le résultat du choix consistant à n'utiliser que les substrats agricoles propres à l'exploitation. Ce choix, on le répète, permet de développer sur tout territoire helvétique des installations de petite méthanisation autonomes et indépendantes du marché concurrentiel des cosubstrats.

Il permettrait d'ailleurs de développer théoriquement le potentiel identifié de production de biogaz de **4'409 GWh** par an.

7.6 Recommandations

L'interprétation des résultats de cette étude nous indique que le potentiel de développement de petites unités de méthanisation valorisant uniquement des substrats agricoles à l'échelle d'une seule exploitation agricole est relativement faible. Il apparaît clairement que sous les conditions définies dans le présent rapport, la réalisation d'installations de biogaz agricole doit être le fruit d'un regroupement de plusieurs exploitations afin de rassembler les quantités de substrats (principalement des engrais de ferme) nécessaires au bon fonctionnement de l'installation.

En l'état actuel de la situation, la valorisation maximale du potentiel identifié en agriculture n'est envisageable que si des mesures d'accompagnement et d'incitation à la réalisation d'installations de méthanisation soient établies et mises à disposition de la pratique.

Dans cette optique, on peut par exemple évoquer le développement de références et recommandations sur les formes de collaboration envisageables. En effet l'exploitation d'une installation de biogaz impliquant plusieurs agriculteurs, peut se réaliser sous différentes formes juridiques. Un inventaire précis des possibilités existantes et des avantages et inconvénients de chacune d'entre elles permettrait de faciliter les démarches d'agriculteurs intéressés par de tels projets.

Parallèlement, l'exploitation en commun d'une installation de biogaz implique la mise en place d'une logistique spécifique pour la prise en charge des substrats et l'évacuation des digestats. Au vue des coûts de transports engendrés, un approfondissement de l'organisation de la gestion des matières apparaît comme étant opportun dans l'optique d'optimiser leur gestion.

Le développement d'autres références en lien avec la mise en œuvre et le suivi de ce type de projet pourrait également contribuer à favoriser leur concrétisation.

Lors de l'étape d'identification du marché des constructeurs on a remarqué que des coûts d'investissement annoncés par des constructeurs en Europe sont nettement moins élevés qu'en Suisse. Il serait intéressant d'analyser les raisons de ce constat.

Un sujet important sera d'examiner si cet écart est seulement dû aux coûts de la vie plus élevés en Suisse, ou à d'autres facteurs, tels que les exigences imposées pour la protection de l'environnement, ou la façon de construire l'installation (préfabrication des composants, standardisation, qualité des matériaux / des finitions).

Une optimisation de la construction des installations permettraient de réduire les coûts d'investissement et donc de diminuer le prix de revient de l'électricité.

8. Bibliographie

- Agridea. 2013.** *Memento Agricole.* 2013.
- AgroCleanTech. 2012.** *Ressourcen- und Klimateffizienz in der Landwirtschaft: Potenzialanalyse.* 2012.
- ART. 2013.** *Coûts-machines 2013.* 2013. Rapport ART 767.
- ART. 2011.** *Ökobilanzierung des Anbaues von Zwischenkulturen zur Biogasproduktion.* 2011.
- Biomasse Suisse. 2012.** *Typische Kosten von Biogasanlagen in der Schweiz.* 2012.
- Boéchat, Sylvain. 2011.** *Petites unités de méthanisation agricoles, critères de faisabilité et d'application en Suisse.* 2011. Travail de diplôme dans le cadre de la formation CAS-ERTA.
- Chopy, Xavier. 2011.** *Identification d'un procédé de méthanisation adapté aux exploitations agricoles des cantons suisses franco-phones, des régions de Rhône-Alpes et Franche Comté.* 2011. Rapport de stage.
- DBF-GCH. 2009.** *Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages.* s.l. : Agroscope, 2009.
- Eicher+Pauli AG. 2013.** *Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien - Ausgabe 2012.* 2013.
- HAFL. 2013.** *Emissions d'ammoniac en Suisse de 1990 à 2010 et prévision d'ici à 2020.* Zollikofen : HAFL, 2013.
- Hayer Frank, Scharfy Deborah, Gaillard Gérard, Anpach Victor, Albisser Gregor. 2011.** *Ökobilanzierung des Anbaues von Zwischenkulturen zur Biogasproduktion.* Zürich : Agroscope, 2011.
- KTBL. 2013.** *Faustzahlen Biogas.* 3ème. 2013.
- Nova Energie. 2010.** *Vergärbare Abfälle in der Schweiz.* 2010.
- OFAG-OFEV. 2011.** *Constructions rurales et protection de l'environnement .* Berne : OFAG-OFEV, 2011.
- OFEV, OFAG. 2012.** *Constructions rurales et protection de l'environnement.* 2012.
- OFS. 2011.** *Recensement des entreprises agricoles.* Neuchâtel : OFS, 2011.
- OFS. 2010.** *Relevé complémentaire au recensement fédéral.* Neuchâtel : OFS, 2010.
- OPD, RS 910.13.** *Ordonnance sur les paiements directs versés en agriculture (OPD, RS 910.13).* Bern : s.n.
- Récolte des menues-pailles, Résultats et expériences de 3 années d'essais à l'HAFL.* **Streit Bernhard, Marti Fritz, Froidevaux Nicolas. 2011.** Zollikofen : s.n., 2011.
- **Streit Bernhard, Marti Fritz, Froidevaux Nicolas. 2011.** Zollikofen : s.n., 2011.
- Spicher, F. Reutlinger et M. 2007.** *Klein-Biogasanlagen in der Landwirtschaft.* Frauenfeld : Genesys Biogas AG, 2007.

Annexe 1 : Liste des fournisseurs de petites installations de biogaz en Europe

Constructeur	Nom et/ou description du procédé
4Biogas GmbH & Co. KG D-44229 Dortmund www.4biogas.de	<u>NOVA</u> . Digesteur vertical en acier thermophile.
AEB Méthafrance F-22400 Lamballe www.aeb-energie.fr	Digesteur infiniment mélangé en béton. Dès 36 kW _{él.}
Agergas Biogás E-08970 Barcelona www.agergas.com	<u>Agergas Little (AGLT)</u> . Unité de biogaz entre 10 et 30 kW.
Agréole Développement F-43750 Vals près le Puy www.agreoledeveloppement.fr	<u>Mathéoz</u>
Agrikomp Süd GmbH (Schweiz) CH-6216 Mauensee www.biogastechnik.ch	<u>GülleWerk</u> . Système de digestion en conteneur. Agrikomp est représenté en Suisse par Daniel Lampart.
Agrimetha F-79300 Bressuire Pas encore de site internet	Cette compagnie développe et commercialise des systèmes de méthanisation à la ferme en silo-couloir (même système que celui proposé par ARIA Energies et Biocité)
Agrofutur SA B-6041 Gosselies, Belgique www.agrofutur.eu	Méthanisation en filtres anaérobies
ARIA Energies F-31300 Toulouse www.aria-enr.fr	<u>Silogaz®</u> . Système de digestion par voie solide discontinue
Arnold & Partner AG CH-6102 Malters www.arnoldbiogastechnik.ch	Installation de biogaz compacte "ring in ring".
BD Agro Renewables D-49377 Vechta www.bd-agro.de	<u>MiniFerm</u> . 75 kW _{él.}
Bebra Biogas GmbH D-44147 Dortmund www.bebra-biogas.com	<u>Bebra Compact</u> . Digesteur vertical thermophile. Puissance de 50 à 200 kW _{él.} . Le digesteur produit par Bebra est le même que celui proposé par 4biogas.
Bio4gas Express GmbH D-86916 Kaufering www.bio4gas.eu	<u>BERT</u> . Installations de biogaz dès 20 kW _{él.} . Ce système commercialisé en Suisse par Mons Solar
Biocité / Agriterre F-Lyon Pas encore de site internet	Cette compagnie développe et commercialise des systèmes de méthanisation à la ferme en silo-couloir (même système que celui proposé par ARIA Energies et Agrimetha)
BioConstruct D-49328 Melle www.bioconstruct.com	<u>BioCompact</u> 75 kW _{él.}
Biogas Hochreiter D-83530 Schnaitsee www.biogas-hochreiter.de	Digesteur infiniment mélangé en béton. Installations dès 30 kW _{él.}

Biogas Nord AG D-33719 Bielefeld www.biogas.de	<u>BiNoMiniMax</u> . Digesteur infiniment mélangé en béton. Installations dès 75 kW _{él} .
Biogas Ost D-36404 Gehaus www.biogas-ost.eu	<u>Clever Ferm</u> .
Biogas Weser-Ems GmbH D-26169 Friesoythe www.biogas-weser-ems.de	<u>Hofkraftwerk</u>
Bioelectric B-9140 Temse, Belgique www.bioelectric.be	Digesteur en géomembrane. Plusieurs références <10 kW _{él}
Bioplex (Longstock Energy Ltd) Stockbridge, Hampshire SO20, UK www.bioplex.co.uk	<u>Portagester</u> . Système de digestion en benne mobile.
BioWaz Group Management N-7288 Soknedal, Norway www.biowaz.com	Système breveté BioWaz® d'installations modulaires.
BluEnergyControl srl IT-36050 Monteviale www.minibiogas.it	<u>Lilliput Minibiogas</u>
BTS Biogas IT-39031 Bruneck www.bts-biogas.com	LineaFARMER à partir de 50 kW _{él} .
bue Anlagentechnik GmbH D-06259 Frankleben www.bue-anlagentechnik.de	Kompaktanlage 75 kW _{él} .
Chiemgauer Biogasanlagen D-83370 Seeon www.chiemgauer-biogasanlagen.de	Digestion par voie solide discontinue de type silo-couloir.
CJB Energieanlagen GmbH D-49767 Twist www.kleinvieh.eu	<u>Kleinvieh</u> . Conteneur avec CCF, trémie pour alimenter solides, équipements de pompage mais sans digesteur.
Clearfleau Bracknell, Berkshire, RG12, UK www.clearfleau.com	
Consentis Anlagenbau GmbH D-49835 Wietmarschen www.consentis.de	<u>CON2</u> . Digesteur piston multi-chambre dans un conteneur en acier développé conjointement avec Conviotec.
Conviotec GmbH D-24941 Flensburg www.conviotec.com	<u>CON2</u> . Digesteur piston multi-chambre dans un conteneur en acier développé conjointement avec Consentis.
DeNaBa GmbH D-31719 Wiedensahl www.denaba.de	Digesteur voie solide à alimentation discontinue. Puissance électrique de 40 à 150 kW _{él} .
DynaHeat-HPE GmbH D-86573 Obergriesbach www.dynaheat-hpe.com	Trockenfermenter Typ Multiflex 100
Eggersmann Anlagenbau D-32549 Bad Oeynhausen www.smartferm.com	<u>SMARTFERM</u> . Digestion par voie solide discontinue

Enbion GmbH D-21335 Lüneburg www.enbea.de www.kleinbiogasanlage.de	<u>ENBEA Bots.</u> Digestion par voie solide discontinue
Energieanlagen Röring GmbH D-48691 Vreden www.energieanlagen-roering.de	<u>UDR Monotube.</u> Digesteur vertical en acier avec 4 compartiments dont à lit fixe.
Energieraum GmbH D-26135 Oldenburg www.energieraum-e3.de	<u>EVA 75.</u> Digesteur infiniment mélangé
Enspar Biogas GmbH D-33181 Bad Wünnenberg www.enspar.de	Digesteur infiniment mélangé en inox. Puissance 50 kW _{ét.}
ERigène SA F-60000 Beauvais www.erigene.com	<u>ERibox.</u> Digestion par voie solide discontinue
enCO2 GmbH D-79111 Freiburg www.enco2.com	Offrent des installations clé-en-main avec le système UDR Monotube de Energie-Anlagen Röring. Ils seraient intéressés à livrer sur le marché suisse.
EnviTec Biogas AG D-48369 Saerbeck www.envitec-biogas.com	EnviFarm Compact. Conteneur technique avec CCF dès 100 kW _{ét.} Pas de digesteur intégré
E.U.R.O Biogas Anlagenbau D-29640 Schneverdingen www.eurobiogas.de	Installations avec digesteur en béton dès 75 kW _{ét.}
Evergreen Gas Ludlow, Shropshire SY8 4AH, UK www.evergreengas.co.uk	Dès 35 kW _{ét.} 3 tailles de digesteurs
Fermtech Systems NL-3927 Renswoude www.fermtechsystems.com	Système de bioraffinage, combinant hydrolyse, digestion dans un digesteur vertical, séparation de phases puis traitement struvite pour récupérer les phosphates.
Fre Energy Holt, Wrexham, LL13 9TE, UK www.fre-energy.co.uk	Installations de digestion infiniment mélangé avec agitation avec biogaz. Dès 80 kW _{ét.}
Green Energy Technologies NL-7213 Gorssel www.get-technologies.com	<u>AgriModem.</u> Installation complète en 4 conteneurs développée conjointement avec Lely.
HoSt B.V NL-7521 Enschede www.microferm.fr	<u>Microferm.</u> Digesteur vertical pour traitement du lisier
HSEnergy GmbH & Co. KG D-72160 Horb www.holistic-solution-energy.com	HSEnergy 75. Digesteur infiniment mélange en éléments de béton préfabriqué
Inergie GmbH D-49124 Georgsmarienhütte www.inergie.eu	<u>GülleKompakt75.</u> Digesteur infiniment mélangé. Installations dès 75 kW _{ét.}
Lipp GmbH D-73497 Tannhausen www.lipp-system.de	<u>Kombio-Reaktor.</u>
Marches Biogas Ludlow Shroeshire SY8 4DS, UK www.marchesbiogas.com	Plug and Play Digester

Methabag F-30200 St Nazaire www.methabag.com	Petites installations avec digesteur classique en béton ou digesteur rustique souple sans éléments mécaniques.
Methajade F-44860 Pont St Martin www.methajade.fr	Installations de méthanisation par voie solide discontinue type "garage"
MT Energie GmbH D-27404 Zeven www.mt-energie.com	<u>MT Farm</u> . Dès 75 kW _{él} .
Mons Solar GmbH CH-9444 Diepoldsau www.monssolar.com	<u>BERT</u> . Représentant en Suisse de Bio4gas.
Müller Abfallprojekte GmbH A-4675 Weibern www.muelles-umwelttechnik.at	<u>MOBIGAS</u> . Installation de biogaz pour déchets solides à alimentation discontinue sous forme de conteneurs. Développé conjointement avec Pöttinger.
Nijhuis Water Technology bv NL-7091HB Dinxperlo www.nijhuis-biogas.com/	Système « Aecobag » digesteur rustique en sac et système « Minotaurus » de conception « bag in tank ».
NOVATECH GmbH D-74549 Wolpertshausen www.novatechgmbh.com	<u>Kleinkraftwerk</u> . Digesteur en béton. Deux références à 50 et 80 kW _{él}
NQ – Anlagentechnik GmbH D-86733 Alerheim-Rudelstetten www.nq-anlagentechnik.de	<u>Hofbiogasanlage</u> . Digesteur infiniment mélangé en béton. Installations dès 30 kW _{él} .
NRE Research srl IT-34149 Basovizza - Trieste www.poopy.eu	<u>Compact Smart Reactor</u> .
Odipure F-22440 Ploufragan www.odipure.com	<u>MéthaFast®</u>
Ökobit GmbH D-54343 Föhren www.oekobit-biogas.com	System KORN et système Flex
PlanET Biogastechnik GmbH D-48691 Vreden www.planet-biogas.com	Plusieurs réalisations à 75 kW _{él} .
Portaferm D-99423 Weimar www.portaferm-biogas.de	Petite installation de biogaz à 10 ou 20 kW _{él} avec digesteur de 50 m ³ en acier.
Pöttinger Entsorgungstechnik GmbH A-4710 Grieskirchen www.portaferm-biogas.de	<u>MOBIGAS</u> . Installation de biogaz pour déchets solides à alimentation discontinue sous forme de conteneurs. Développé conjointement avec Müller Abfallprojekte.
QUBE Renewables Wiveliscombe, Somerset, TA, UK www.quber Renewables.co.uk	Digesteur bioQUBE en conteneur. Installation de conversion du biogaz en électricité PowerQUBE de 3.2 à 15 kW _{él}
Renergion International AG CH-8280 Kreuzlingen www.renergion.ch	<u>RSD-Mini</u>
Reus Energy GmbH D-83527 Kirchdorf/Haag i. Obb www.reus-energy.de	<u>Bio pact 50</u> .

Rückert-NatUrgas GmbH D-91207 Lauf/Pegn. www.rueckert-naturgas.de	Installations dès 35 kW _{él} et 200m ³ de digesteur.
S2 Watt F-78059 Saint Quentin en Yvelines www.s2-watt.com	
Sauter Biogas GmbH D-01665-Klipphausen www.sauter-biogas.de	<u>SB Mini</u> . Digesteur infiniment mélangé. Installations dès 75 kW _{él} .
Schmack Biogas GmbH D-92421 Schwandorf www.schmack-biogas.de	<u>EUCO</u> lino. Installation en conteneur de 50 à 100 kW _{él} .
Schweizer AG CH-9536 Schwarzenbach www.schweizerag.ch	Installation compacte.
Seab Energy Southampton SO16 7NP, UK www.seabenergy.com	MuckBuster™. Installation en container.
SwissEcoSystems GmbH CH-8180 Bülach www.ecogas.ch	<u>EcoGas</u> . Installation de biogaz dès 64 kW _{él} , avec digesteur infiniment mélangé en acier ou en béton
The Modular Digester Company Stockbridge, Hants, SO20 6DJ, UK Pas de site internet	Digesteur modulaire en conteneur dérivé du Portagester, conçu pour des puissances allant de 25 à 150 kW _{él}
UTS Biogastechnik GmbH D-85399 Hallbergmoos www.uts-biogas.com	<u>UTS Kairos</u>
Valogreen F-60240 Reilly www.valogreen.fr	

Annexe 2 : Analyse Economique – détails et hypothèses

Annexe 2.1 Coûts d'investissement

A. Réception, stockage et préparation

Préfosse, y compris brassage

Station de pompage (pompe à lobes), y compris vannes automatiques et conduites

B. Méthanisation

Digesteur, type infiniment mélangé, y.c. isolation, circuit de réchauffage, brassage, sécurité dépression/surpression, équipements de contrôle (jauge de niveau, thermomètre, . . .), stockage souple de biogaz intégré, désulfuration biologique

C. Gestion digestat

Cuve digestat, y.c. couverture, brassage

D. Ligne de biogaz et couplage-chaleur-force

Couplage-chaleur-force, fourni en conteneur, avec moteur alimenté au biogaz, armoire de contrôle et commande, récupération de chaleur sur l'eau de refroidissement et les gaz d'échappement, compresseur, refroidisseur de secours, ligne d'alimentation de gaz . . .

Conduites biogaz entre digesteur et cogénération, y.c. conduites équipées, puits de condensation, dispositifs de sécurité

Circuit de distribution d'eau chaude, pour le chauffage du digesteur y.c. distributeur chaleur, conduites

E. Commande

Armoires électriques et de commande, écran de contrôle et de visualisation

Raccordement électrique entre équipements de contrôle, pompes etc. et armoire électrique et de commande, y compris protection contre la foudre

Appareils et équipements de contrôle, (niveau, pression, température)

Ces appareils sont inclus dans les différents postes

F. Bâtiments

Il est admis d'utiliser des bâtiments existants

G. Travaux divers

Terrassement spécifique cuves

Génie-civil pour aménagement de la place de manœuvre, canalisations

Travaux électriques pour alimentation et distribution, raccordement transformateur

Réseau de chaleur, aller-retour conduites isolées, raccordements

H. Ingénierie, montage, mise en service

Dossiers techniques et administratifs pour la mise à l'enquête et pour la réception de l'installation par les autorités compétentes

Projet d'exécution, appel d'offres, direction des travaux, coordination chantier, réception de l'installation

Travaux de montage des équipements

Mise en service, formation du personnel d'exploitation, conseils techniques

Imprévus

MONTANT TOTAL DES INVESTISSEMENTS (HT)

CHF 860'000

Annexe 2.2 Frais d'exploitation

Frais d'exploitation

Réparations / Entretien méthanisation	CHF 15'050
Consommables, analyses, contrôles méthanisation	CHF 1'680
Cultures intermédiaires	CHF 11'500
Transport des substrats	CHF 14'700
Gestion digestat	-CHF 750
Coûts chargeuse	CHF 0
Assurances méthanisation	CHF 2'580
Personnel	CHF 7'280
Total frais d'exploitation	CHF 52'040

Réparations / entretien méthanisation

Les frais de réparation et d'entretien, pour ce qui concerne le gros-œuvre et les équipements, ont été estimés en appliquant respectivement un pourcentage de 1% et de 2% sur les coûts d'investissement les concernant. La part de gros-œuvre est estimée à 65% des coûts totaux ; la part des équipements est de 25% et la part du CCF de 10%.

Les frais pour l'unité de CCF sont également compris sous ce poste. Ils sont estimés à 2.5 ct CHF/kWh électrique produit (adapté (KTBL, 2013)).

Consommables, analyses, contrôles méthanisation

Ce poste est constitué par les achats de consommables (lubrifiants, etc.), par les analyses éventuellement requises sur le process, ainsi que par les contrôles qui pourraient être exigés par des organismes officiels. Il peut être grossièrement estimé sur la base d'un ratio de 0,2% (adapté (Biomasse Suisse, 2012)) appliqué sur l'investissement total, chaque année.

Cultures intermédiaires

Les cultures intermédiaires font déjà partie de la rotation des cultures, sauf qu'elles ne sont pas récoltées et ensilées. Pour la méthanisation il est donc tenu compte des coûts de l'étape supplémentaire de récolte et d'ensilage.

Le rapport « Ökobilanzierung des Anbaues von Zwischenkulturen zur Biogasproduktion » (ART, 2011) donne des coûts entre 16 et 29 ct CHF/ kWh électrique, pour une moyenne de 22.5 ct / kWh. Avec un rendement de 15 t MB / ha on obtient des coûts qui s'élèvent à CHF 678/ ha.

Transport des substrats

Il est admis qu'environ 4'200 tonnes d'engrais de ferme devraient être déplacés vers l'installation de biogaz agricole, au prix estimé à CHF 3.50 / tonne (estimation Agridea). Il n'est pas admis des frais pour le retour du digestat vers les exploitations fournissant leurs engrais de ferme. Le départ pour l'épandage a lieu directement depuis l'installation de biogaz. Il est estimé qu'il n'y pas de transport supplémentaire jusqu'aux champs par rapport à la situation où le lieu de départ pour l'épandage se situe sur l'exploitation agricole.

Gestion de digestat

Seules les quantités supplémentaires de digestat à épandre par rapport à la situation actuelle sont comptabilisées en charges.

Grâce à la digestion, une réduction de volume a lieu, diminuant la quantité à épandre de 150 tonnes par an. En admettant des coûts d'épandage de CHF 5 par tonne, une réduction de la quantité à épandre, permettrait donc une relative économie au niveau de frais d'épandage.

Coûts de manutention

Un chargeur (télescopique ou frontal) est nécessaire pour les travaux de manutention des intrants. Il est admis qu'un tel engin est disponible sur l'exploitation agricole où se situera l'installation de biogaz. Le fonctionnement de la chargeuse est déjà pris en compte dans le bilan de l'exploitation agricole et donc aucun frais n'est imputé.

Frais d'assurance

Le montant de la prime d'assurance pour la couverture des risques d'éventuels dégâts et de responsabilité civile peut être estimé à 0.5% du total des investissements (KTBL, 2013).

Personnel

Seuls les employés affectés à l'installation de méthanisation sont considérés. Les tâches du personnel technique et d'exploitation consistent en une tournée journalière de contrôle, en la saisie des données d'exploitation, de petites réparations, des tâches générales d'entretien du cogénérateur et/ou des équipements et en des travaux administratifs divers. Les opérations relatives à la réception, au contrôle et à la manutention des matières (intrants, digestat) nécessitent également de la main-d'œuvre.

Il est estimé une occupation de 5 heures par semaine à un tarif horaire agricole de CHF 28 / h (ART, 2013), tenant compte du fait que la gestion de l'installation de biogaz est considérée comme activité agricole.

Annexe 2.3 Amortissement

Amortissement	
Gros-œuvre	CHF 27'900
Équipements	CHF 22'300
Couplage-chaleur-force	CHF 9'800
Total amortissement	CHF 60'000

Les durées d'amortissement communément admises sont de 20 ans sur le gros-œuvre, de 10 ans sur les équipements et de 8 ans sur le moteur de l'unité de couplage chaleur force. L'amortissement est calculé selon la méthode linéaire.

Annexe 2.4 Financement

Financement	
Intérêts	CHF 10'500
Total financement	CHF 10'500

Le financement de l'investissement nécessite des emprunts bancaires, sur lesquels des intérêts sont perçus.

Trois types d'emprunts sont à prévoir :

- 1) Un prêt pour un montant qui s'élève à 30 – 50% des coûts d'investissement à un taux d'intérêt de 0% dans le cadre de l'Ordonnance sur les améliorations structurelles (OAS), admis à CHF 345'000.
- 2) Un apport en fonds propres à hauteur de CHF 50'000, à un taux d'intérêt de 2%.
- 3) Un emprunt bancaire pour le solde, à savoir CHF 465'000, à un taux de 3.5 %, remboursable sur 20 ans.

Annexe 2.5 Recettes

Recettes	
Vente électricité	À déterminer
Vente chaleur	CHF 6'360
Certificats CO ₂	CHF 5'880
Economie engrais	CHF 0
Traitement des coproduits	CHF 0
Total recettes hors vente électricité	CHF 12'240

Vente chaleur

La chaleur est relativement peu valorisée à l'extérieur de l'installation de biogaz. On considère ici la vente de la chaleur à un prix de 9 ct. / kWh, correspondant au prix actuel du mazout de chauffage.

Certificats CO₂

Les émissions de méthane sont réduites par le biais de la fermentation des engrais de ferme. Une installation de biogaz traitant des engrais de ferme réduirait donc les émissions de gaz à effet de serre, exprimé en équivalents CO₂. Cette réduction pourrait être rémunérée par un organisme recherchant une compensation pour ses émissions de CO₂.

Le montant a été calculé selon les données du rapport « Typische Kosten von Biogasanlagen in der Schweiz », de Biomasse Suisse (Biomasse Suisse, 2012).

Annexe 3 : Variante sans autres substrats agricoles

Annexe 3.1 Dimensionnement d'une installation type

L'installation qui traiterait uniquement des engrais de ferme transformera environ **6'165 tonnes** de matières fraîches par an en biogaz et en digestat, dans un digesteur de type infiniment mélangé également.

Le schéma conceptuel de l'installation ainsi que le dimensionnement des principaux ouvrages est montré à la figure 1 qui suit.

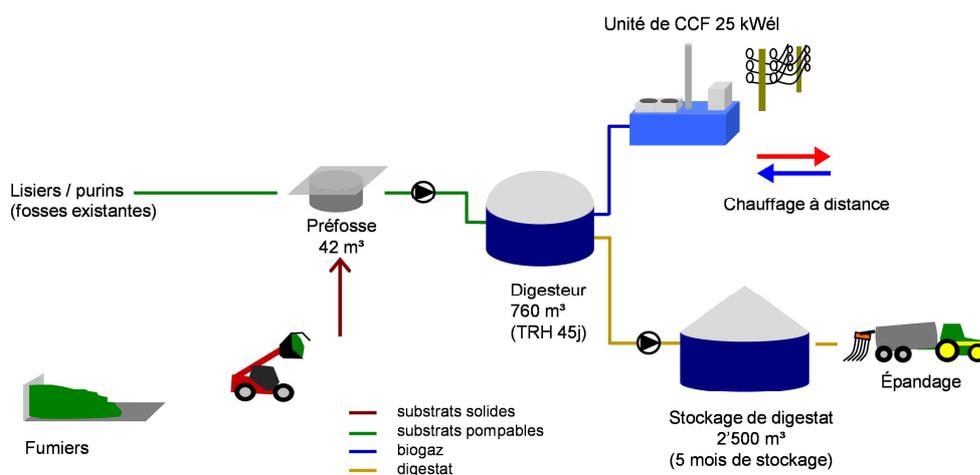


Figure 1 : Schéma conceptuel de l'installation de biogaz

Le digesteur de 760 m³ est dimensionné pour un temps de séjour de 45 jours. Le digestat, ayant un faible taux de MS, il pourra être épandu à l'état liquide et donc une séparation de phases n'est pas prévue. Il est stocké dans une cuve dont le volume nécessaire est dimensionné à 2'500 m³.

Le contenu énergétique du biogaz produit se monte à 666'700 kWh. Valorisé dans un CCF, il permettrait de produire 200'000 kWh d'électricité et 353'300 kWh de chaleur. Après déduction de l'autoconsommation électrique (estimée à 15% de la production) et thermique (estimée à 70% de la production), 170'000 kWh d'électricité sont injectés dans le réseau électrique et 105'900 kWh de chaleur sont disponibles pour une valorisation externe à l'installation de biogaz.

Il est admis que 20% de la quantité totale de chaleur produite, à savoir 70'660 kWh, serait valorisée en externe.

Annexe 3.2 Coûts d'investissement

A. Réception, stockage et préparation

Préfosse, y compris brassage

Station de pompage (pompe à lobes), y compris vannes automatiques et conduites

B. Méthanisation

Digesteur, type infiniment mélangé, y.c. isolation, circuit de réchauffage, brassage, sécurité dépression/surpression, équipements de contrôle (jauge de niveau, thermomètre, . . .), stockage souple de biogaz intégré, désulfuration biologique

C. Gestion digestat

Cuve digestat, y.c. couverture, brassage

D. Ligne de biogaz et couplage-chaleur-force

Couplage-chaleur-force, fourni en conteneur, avec moteur alimenté au biogaz, armoire de contrôle et commande, récupération de chaleur sur l'eau de refroidissement et les gaz d'échappement, compresseur, refroidisseur de secours, ligne d'alimentation de gaz . . .

Conduites biogaz entre digesteur et cogénération, y.c. conduites équipées, puits de condensation, dispositifs de sécurité

Circuit de distribution d'eau chaude, pour le chauffage du digesteur y.c. distributeur chaleur, conduites

E. Commande

Armoires électriques et de commande, écran de contrôle et de visualisation

Raccordement électrique entre équipements de contrôle, pompes etc. et armoire électrique et de commande, y compris protection contre la foudre

Appareils et équipements de contrôle, (niveau, pression, température)

Ces appareils sont inclus dans les différents postes

F. Bâtiments

Il est admis d'utiliser des bâtiments existants

G. Travaux divers

Terrassement spécifique cuves

Génie-civil pour aménagement de la place de manœuvre, canalisations

Travaux électriques pour alimentation et distribution, raccordement transformateur

Réseau de chaleur, aller-retour conduites isolées, raccordements

H. Ingénierie, montage, mise en service

Dossiers techniques et administratifs pour la mise à l'enquête et pour la réception de l'installation par les autorités compétentes

Projet d'exécution, appel d'offres, direction des travaux, coordination chantier, réception de l'installation

Travaux de montage des équipements

Mise en service, formation du personnel d'exploitation, conseils techniques

Imprévus

MONTANT TOTAL DES INVESTISSEMENTS (HT)

CHF 950'000

Annexe 3.3 Frais d'exploitation

Frais d'exploitation

Réparations / Entretien méthanisation	CHF 16'140
Consommables, analyses, contrôles méthanisation	CHF 1'850
Cultures intermédiaires	CHF 0
Transport des substrats	CHF 18'900
Gestion digestat	-CHF 750
Coûts chargeuse	CHF 0
Assurances méthanisation	CHF 2'850
Personnel	CHF 7'280
Total frais d'exploitation	CHF 46'270

Réparations / entretien méthanisation

Les frais de réparation et d'entretien ont été calculés selon la même méthode que celle utilisée pour l'installation type (voir annexe 2).

Consommables, analyses, contrôles méthanisation

Ce poste a été estimé selon la même méthode que celle utilisée pour l'installation type.

Transport des substrats

Environ 5'400 tonnes d'engrais de ferme devraient être déplacés vers l'installation de biogaz agricole, au prix estimé à CHF 3.50 / tonne.

Gestion de digestat

Grâce à la digestion, une réduction de volume a lieu, diminuant la quantité à épandre de 150 tonnes par an. Admettant des coûts d'épandage de CHF 5 par tonne, une réduction de la quantité à épandre, permettrait donc une économie relative au niveau de frais d'épandage.

Coûts de manutention

Le fonctionnement de la chargeuse est déjà pris en compte dans le bilan de l'exploitation agricole et donc aucun frais n'est imputé.

Frais d'assurance

Ce poste a été estimé selon la même méthode que celle utilisée pour l'installation type.

Personnel

On estime une charge de travail de 5 heures par semaine à un tarif horaire agricole de CHF 28 / h (ART, 2013).

Annexe 3.4 Amortissement

Amortissement	
Gros-œuvre	CHF 31'500
Équipements	CHF 24'300
Couplage-chaleur-force	CHF 9'800
Total amortissement	CHF 65'600

Annexe 3.5 Financement

Financement	
Intérêts	CHF 11'200
Total financement	CHF 11'200

Trois types d'emprunts sont à prévoir :

- 1) Un prêt pour un montant qui s'élève à 30 – 50% des coûts d'investissement à un taux d'intérêt de 0% dans le cadre de l'Ordonnance sur les améliorations structurelles (OAS), admis à CHF 380'000.
- 2) Un apport en fonds propres à hauteur de CHF 50'000, à un taux d'intérêt de 2%.
- 3) Un emprunt bancaire pour le solde, à savoir CHF 520'000, à un taux de 3.5 %, remboursable sur 20 ans.

Annexe 3.6 Recettes

Recettes	
Vente électricité	À déterminer
Vente chaleur	CHF 6'360
Certificats CO ₂	CHF 7'400
Economie engrais	CHF 0
Traitement des coproduits	CHF 0
Total recettes hors vente électricité	CHF 13'760