

Biomassebörse • CO<sub>2</sub>-Reduktionspapiere • Ökostrom vom Bauernhof  
Bourse de la biomasse • Attestations de réduction de CO<sub>2</sub> • Courant vert de la ferme



## Rapport final: Benchmarking du biogaz 2016



Ökostrom Schweiz  
Geschäftsstelle Winterthur  
Technoparkstrasse 2, 8406 Winterthur  
Telefon: 056 444 24 96, Fax: 052 747 10 06  
[www.oekostromschweiz.ch](http://www.oekostromschweiz.ch)  
[info@oekostromschweiz.ch](mailto:info@oekostromschweiz.ch)

Ökostrom Schweiz  
Geschäftsstelle Bem  
Milchstrasse 9, 3072 Ostermundigen  
Telefon: 056 444 24 90, Fax: 052 442 06 72  
[www.oekostromschweiz.ch](http://www.oekostromschweiz.ch)  
[info@oekostromschweiz.ch](mailto:info@oekostromschweiz.ch)

Ökostrom Schweiz  
Büro Westschweiz  
Rue Grangeneuve 31, 1725 Posieux  
Téléphone: 026 305 59 35, Fax: 026 305 58 04  
[www.oekostromschweiz.ch](http://www.oekostromschweiz.ch)  
[info@oekostromschweiz.ch](mailto:info@oekostromschweiz.ch)

Responsabilité du projet :

Coopérative Ökostrom Schweiz  
Technoparkstrasse 2, CH-8406 Winterthur  
Tél. 056 444 24 90, Fax. 056 442 06 72  
[www.oekostromschweiz.ch](http://www.oekostromschweiz.ch)

Direction du projet :

Dr. Victor Anspach  
Coopérative Ökostrom Schweiz  
c/o IBA  
Bahnhofstrasse 31  
8280 Kreuzlingen  
[victor.anspach@oekostromschweiz.ch](mailto:victor.anspach@oekostromschweiz.ch)  
[www.oekostromschweiz.ch](http://www.oekostromschweiz.ch)

Auteurs : Victor Anspach, Simon Bolli

Winterthur, le 24/01/2018

Numéro de contrat : SI/402189-01

Source de l'image sur la première page : Ökostrom Schweiz

## Sommaire

1.	Introduction .....	5
2.	Résultats du benchmarking du biogaz .....	6
2.1	Répartition régionale des installations de biogaz participantes .....	6
2.2	Mise en service des installations de biogaz .....	6
2.3	Puissance électrique installée .....	7
2.4	Evolution de la production d'électricité .....	8
2.5	Productivité des installations .....	9
2.6	Concepts d'utilisation de la chaleur et taux d'utilisation de la chaleur.....	10
2.7	Emploi de substrats.....	12
2.8	Consommation propre d'électricité .....	13
2.9	Rendements annuels .....	14
2.10	Rendements électriques tirés des substrats .....	14
2.11	Temps de séjour et charge volumique .....	15
2.12	Productivité de biogaz .....	16
3.	Synthèse des résultats.....	17
4.	Annexe .....	20

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Puissance nominale électrique installée des installations collectées en 2016 .	7
Tableau 2 : Production d'électricité en phase opérationnelle.....	8
Tableau 3 : Benchmarking des heures de pleine charge.....	9
Tableau 4 : Evolution de la productivité des installations (IBA de moins de 150kW) .....	9
Tableau 5 : Evolution de la productivité des installations (IBA de plus de 150kW) .....	10
Tableau 6 : Benchmarking de la consommation propre d'électricité.....	14
Tableau 7 : Benchmarking des rendements annuels énergétiques.....	14
Tableau 8 : Rendements électriques tirés des substrats.....	15
Tableau 9 : Temps de séjour dans un système étanche aux gaz (digesteur et post-digesteur) .....	15
Tableau 10 : Charge volumique des cuves de fermentation.....	16
Tableau 11 : Production de biogaz découlant des substrats.....	16

Liste des figures :

Figure 1 : Répartition régionale des installations de biogaz dans le benchmarking.....	6
Figure 2 : Année de mise en service des installations de biogaz.....	7
Figure 3 : Evolution de la production d'électricité de 2012 à 2016 par classe de taille .....	8
Figure 4 : Evolution de l'utilisation de la chaleur (sans besoins propres en chaleur de l'installation de biogaz).....	11
Figure 5 : Emploi de substrats des installations de biogaz en phase opérationnelle II (par rapport aux quantités) .....	12
Figure 6 : Emploi de substrats des installations de biogaz en phase opérationnelle II (par rapport à l'énergie) .....	13

## 1. Introduction

La production de biogaz est un secteur de production de plus en plus important pour de nombreuses exploitations agricoles suisses. En Suisse, près de 100 installations de biogaz agricole étaient en service en 2016. Un grand nombre d'exploitations agricoles sont associées directement (p. ex. avec des installations communes) ou indirectement (p. ex. par le biais de la livraison d'engrais de ferme ou de la fourniture de digestat) à chaque installation de biogaz. L'objectif du benchmarking du biogaz est de procéder à une analyse systématique de la productivité, de l'efficacité et du résultat de la production de biogaz au fil du temps.

Qu'entend-on par benchmarking du biogaz ?

Dans le cadre du benchmarking, les données de gestion et de production sont systématiquement collectées, ce qui aboutit à des ratios de production et d'efficacité biologiques, techniques et économiques pour chaque installation de biogaz participante. La collecte des données et l'élaboration des indicateurs s'effectuent sur une base annuelle. Ainsi, chaque installation de biogaz peut suivre sa propre progression au fil des ans, mais elle peut aussi se comparer avec les autres installations participantes.

Quels sont les objectifs et les avantages du benchmarking ?

Les comparaisons entre les indicateurs au sein et à l'extérieur de l'exploitation ainsi que l'échange direct entre des exploitants d'installations favorisent le contrôle des résultats et l'optimisation des installations de biogaz. Par conséquent, le benchmarking doit garantir la continuité du processus d'optimisation et contribuer à une augmentation de la productivité et de l'efficacité ainsi qu'à une amélioration de la rentabilité.

Phases pilotes I-III

Le benchmarking du biogaz a été réalisé pour la première fois dans le cadre d'une phase pilote entre novembre 2013 et décembre 2015. Durant cette période, trois collectes (phase pilote I-III) ont été effectuées. Cela a permis de collecter les données techniques et économiques de chaque installation pilote pour 2012, 2013 et 2014. Les résultats des phases pilotes ont été publiés dans un rapport de projet qui est disponible sur [www.oekostromschweiz.ch](http://www.oekostromschweiz.ch) ou [www.energieschweiz.ch](http://www.energieschweiz.ch) (en allemand). Ce rapport de projet décrit également le contexte et les principes méthodologiques du benchmarking.

Phases opérationnelles I-II

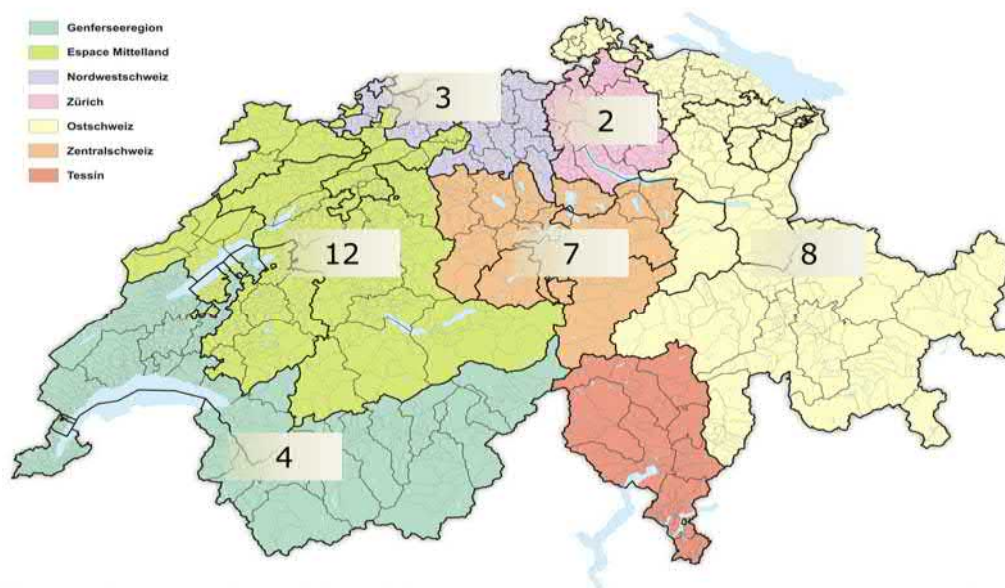
Après la phase pilote, le benchmarking est passé à la phase opérationnelle. La saisie des données d'exploitation a lieu une fois par an sur la base de la comptabilité de l'année précédente. Cela a permis de collecter les données techniques et économiques de chaque installation de biogaz pour les années 2015 et 2016.

Le présent rapport contient les principaux résultats des indicateurs techniques et biologiques ainsi que les résultats généraux tirés de la phase opérationnelle II sur la base des données de 2016.

## 2. Résultats du benchmarking du biogaz

### 2.1 Répartition régionale des installations de biogaz participantes

Dans la phase opérationnelle II, 36 installations de biogaz agricole ont participé à la collecte systématique. La Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. 1 représente la répartition régionale des installations de biogaz participant au benchmarking. Les installations participantes sont réparties de façon relativement homogène dans toute la Suisse.



Anzahl BGA im Benchmarking **36**

Bezugsjahr: 2016

Figure 1: Répartition régionale des installations de biogaz dans le benchmarking

Source : illustration réalisée par l'auteur du document (carte : Wikipedia)

### 2.2 Mise en service des installations de biogaz

La Figure 2 illustre l'année de mise en service des installations de biogaz participantes. Près de 11 % des installations ont été mises en service avant 2005. Environ 31 % ont été construites entre 2005 et 2007, environ 17 % entre 2008 et 2010 et environ 42 % des installations à partir de 2011. Les installations de biogaz les plus récentes dans le benchmarking ont été mises en service en 2016. Compte tenu de la répartition des âges, on peut affirmer qu'une grande partie des exploitants d'installations participant au benchmarking a déjà une expérience de longue date avec la production de biogaz. Toutes les anciennes installations de biogaz ont été progressivement agrandies et modernisées après leur mise en service dans le cadre d'investissements ultérieurs. Ces extensions et modernisations font également l'objet d'une collecte systématique et sont intégrées aux évaluations.

N = 36

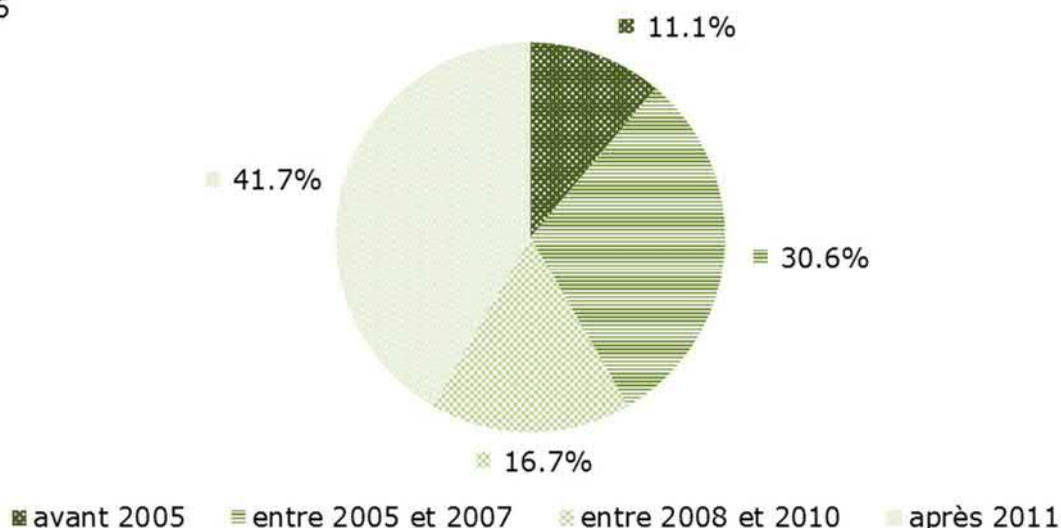


Figure 2 : Année de mise en service des installations de biogaz

### 2.3 Puissance électrique installée

En ce qui concerne les installations étudiées, il s'agit exclusivement d'installations dont la production d'électricité est située en aval du processus de production de biogaz. La puissance nominale électrique installée ( $\text{kW}_{\text{él}}$ ) des installations de biogaz participant au benchmarking se situait autour de  $221 \text{ kW}_{\text{él}}$  en moyenne en 2016. La puissance installée totale a atteint près de  $7.9 \text{ MW}_{\text{él}}$ . Près de 80 % de la puissance installée reviennent aux installations dont la puissance nominale est supérieure à  $150 \text{ kW}_{\text{él}}$ .

Tableau 1 : Puissance nominale électrique installée des installations collectées en 2016

Classes de puissance des installations de biogaz	Phase opérationnelle II	
	Nombre d'IBA	Puissance installée (kW)
moins de $150 \text{ kW}_{\text{él}}$	16	1'595
plus de $150 \text{ kW}_{\text{él}}$	20	6'347
Total	36	7'942
Puissance moyenne (KW)		221

## 2.4 Evolution de la production d'électricité

La production d'électricité des installations de biogaz participantes avoisinait les 41.9 gigawattheures en phase opérationnelle II. Cela correspond approximativement à 36 % de la production d'électricité totale des installations de biogaz agricole en Suisse (OFEN 2017 – 115.8 gigawattheures<sup>1</sup>).

Tableau 2 : Production d'électricité en phase opérationnelle

Production d'électricité des IBA	IBA dans le benchmarking (2016)
Production d'électricité (kWh)	41'918'722
Production d'électricité (MWh)	41'919
Production d'électricité (GWh)	41.9

La production d'électricité enregistrée pour les participants au benchmarking en 2016 était supérieure de 21 % environ à celle de 2015. Cela s'explique par le fait que le nombre d'installations de biogaz participantes a continué à augmenter. Si l'on considère les installations identiques des phases opérationnelles I et II, donc sans prise en compte des nouveaux participants au benchmarking, il y a une augmentation de la production nette d'électricité d'environ 1 % de 2015 à 2016.

Si l'on observe l'évolution de la production d'électricité par classe de taille, il s'avère que les installations de taille assez importante (>150kW) représentaient une part d'environ 76 % de la production d'électricité en 2016.

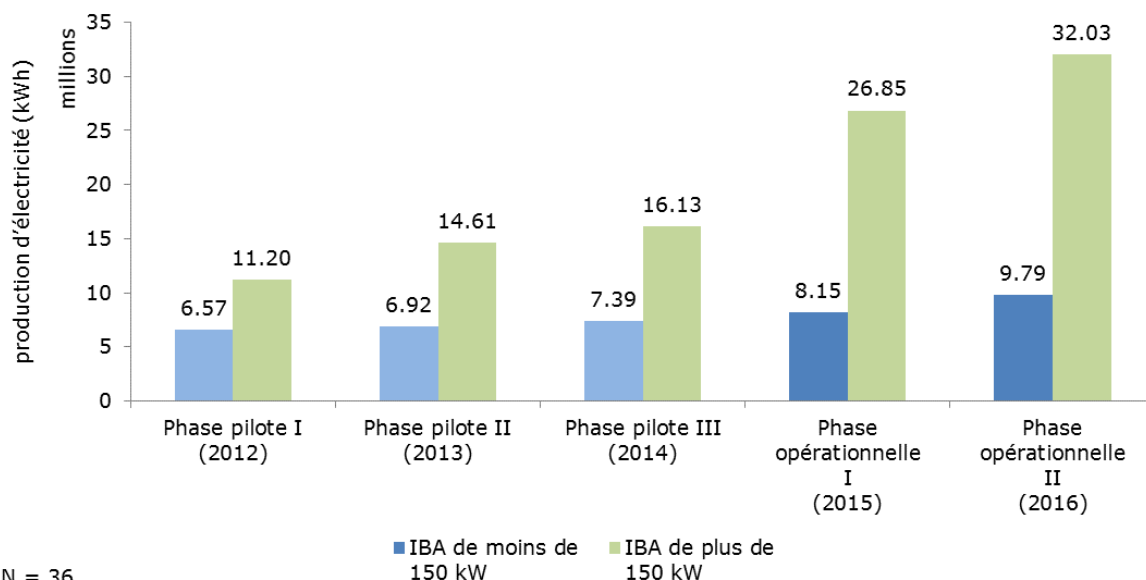


Figure 3 : Evolution de la production d'électricité de 2012 à 2016 par classe de taille

<sup>1</sup> OFEN (2017) Statistique suisse des énergies renouvelables



Comme le montre la figure 3, l'importance de la production d'électricité issue des plus grandes installations participant au benchmarking a augmenté au fil des années. Cependant, une comparaison directe entre les données issues des phases pilotes et celles de la phase opérationnelle n'est pas autorisée étant donné que de nouvelles installations ont été intégrées dans le benchmarking tant en 2015 qu'en 2016, alors que des installations identiques ont été étudiées et comparées les années précédentes.

## 2.5 Productivité des installations

La charge de travail moyenne des installations CCF, mesurée en heures de pleine charge, était d'environ 6'370 heures annuelles dans la phase opérationnelle II. Ainsi, la charge des installations CCF a connu une légère hausse de 0.4 % par rapport à la phase opérationnelle I. La comparaison des indicateurs montre que l'étendue de la charge de travail des installations CCF est très grande. Alors que plus de 8'100 heures annuelles ont été atteintes dans le quartile supérieur, la charge des installations CCF tournait autour de 4'200 heures annuelles seulement dans le quartile inférieur.

Tableau 3 : Benchmarking des heures de pleine charge

Benchmarking des indicateurs techniques :	Installations de biogaz		
	+25%	Ø	-25%
Simple comparaison des indicateurs			
Heures de pleine charge (h/a)	8'136	6'371	4'237
Heures de pleine charge - variation 15/16 (%)	0.1%	0.4%	3.7%

Concernant la productivité des installations (mesurée en heures de pleine charge), les plus petites installations de biogaz (<150kW) ont environ 6'800 heures de pleine charge à leur actif dans la phase opérationnelle II. Par comparaison avec les petites installations des deux années précédentes, la productivité des installations a légèrement diminué. Pour une puissance installée d'environ 100 kW<sub>él</sub> en moyenne, les plus petites installations atteignent une puissance équivalente d'environ 80 kW<sub>él</sub>. Cela correspond à un taux d'utilisation CCF d'environ 80 %.

Tableau 4 : Evolution de la productivité des installations (IBA de moins de 150kW)

Productivité des installations	IBA de moins de 150 kW					Variation 15/16 (en %)
	Phase opérationnelle II (2016)	Phase opérationnelle I (2015)	Phase pilote III (2014)	Phase pilote II (2013)	Phase pilote I (2012)	
Heures de pleine charge (h)	6'737	6'918	7'506	6'805	6'569	-2.6
Puissance installée (KW)	100	99	111	110	110	1.2
Puissance équivalente (KW)	77	80	94	88	83	-3.4
Taux d'utilisation CCF (%)	77.2	80.8	84.7	79.8	75.8	-4.6

En revanche, les installations de taille plus importante (>150kW) atteignent en moyenne près de 6'100 heures de pleine charge dans la phase opérationnelle II. Par rapport aux années précédentes, la productivité des installations a pu augmenter constamment. La puissance installée moyenne des installations de biogaz de taille plus importante s'élevait à environ 320kW<sub>él</sub> et était donc légèrement inférieure à la puissance installée en phase opérationnelle I. En revanche, la puissance équivalente a pu continuer à augmenter en

2016 par rapport aux années précédentes avec près de 215 kW<sub>él</sub>. Le taux d'utilisation CCF était supérieur aux résultats des années précédentes avec près de 67 %.

Comme dans les phases pilotes II et III, des exploitants d'installations ont aussi investi en phases opérationnelles I et II dans des CCF plus puissants et de nouveaux digesteurs ainsi que des capacités de stockage et par là-même dans des augmentations de puissance. Au cours des dernières années couvertes par l'étude, ces investissements se sont traduits par une réduction des heures de pleine charge. Dans les résultats des phases opérationnelles I et II, il apparaît toutefois que les augmentations de puissance ont pu aussi entraîner une hausse de la puissance équivalente. Cette tendance des phases pilotes se poursuit pour les installations de biogaz de taille plus importante.

Tableau 5 : Evolution de la productivité des installations (IBA de plus de 150kW)

Productivité des installations	IBA de plus de 150 kW					Variation 15/16 (en %)
	Phase opérationnelle II (2016)	Phase opérationnelle I (2015)	Phase pilote III (2014)	Phase pilote II (2013)	Phase pilote I (2012)	
Heures de pleine charge (h)	6'062	5'878	5'932	5'130	5'509	3.1
Puissance installée (KW)	322	333	274	289	218	-3.3
Puissance équivalente (KW)	215	211	184	167	128	1.8
Taux d'utilisation CCF (%)	66.7	63.4	67.2	57.8	58.8	5.3

## 2.6 Concepts d'utilisation de la chaleur et taux d'utilisation de la chaleur

En principe, on distingue deux types d'utilisation de la chaleur à l'exception des besoins propres en chaleur de l'installation de biogaz : une utilisation interne et une utilisation externe de la chaleur. Dans l'utilisation interne de la chaleur, la chaleur est principalement utilisée pour le chauffage des habitations sur le site de l'exploitation de l'installation de biogaz, du bâtiment d'exploitation et des étables (avant tout des porcheries et des poulaillers), pour la production d'eau chaude pour l'exploitation agricole, pour le séchage du foin et du bois. En règle générale, la chaleur n'est pas vendue dans le cadre d'une utilisation interne pour sa propre exploitation. Etant donné que l'utilisation interne de la chaleur de certaines installations biogaz n'est pas mesurée, leurs besoins en énergie ont été calculés en partie sur la base de voies d'utilisation de la chaleur.

Contrairement à l'utilisation interne de la chaleur, l'utilisation externe est déterminée par la vente réelle de chaleur, par un compteur de chaleur. Dans l'utilisation externe de la chaleur, les principales voies d'utilisation de la chaleur sont les réseaux de chauffage de proximité proposés aux clients privés et professionnels. Ainsi, l'étendue du réseau de chauffage de proximité va de la fourniture à une habitation voisine jusqu'aux vastes réseaux de chauffage de proximité dont la longueur ne dépasse pas 2'500 mètres. De plus, la chaleur est utilisée en externe dans des serres et des processus de séchage.

L'utilisation de la chaleur prend toujours plus d'importance pour les installations de biogaz étudiées. Alors que dans la phase pilote I, seulement 75 % des installations avaient installé un système d'utilisation de la chaleur, la part est montée à 85 % des installations de biogaz (installations identiques) dans les phases pilotes II et III. Dans la phase opérationnelle I,

la part des installations biogaz avec utilisation de la chaleur était d'environ 90 %. En phase opérationnelle II, toutes les installations de biogaz – sauf une – présentent une utilisation de la chaleur. Cela correspond à une part de plus de 97 %. Au total, le taux d'utilisation de la chaleur n'a cessé d'augmenter au fil des ans et a atteint près de 19.3 GWh en 2016 (sans les besoins propres en chaleur de l'installation de biogaz). Par rapport à une production brute globale de chaleur d'environ 54.97 GWh (d'après nos calculs) pour les installations de biogaz participant au benchmarking, la part de chaleur utilisée représente environ 35.1 %. La part d'utilisation externe de la chaleur rapportée à l'utilisation totale de la chaleur avoisinait les 54.4 % dans la phase opérationnelle II.

L'évolution absolue de l'utilisation de la chaleur (sans besoins propres en chaleur de l'installation biogaz) est présentée en détail dans la Figure 4 pour toutes les phases pilotes et opérationnelles. Les besoins propres en chaleur des installations biogaz pour le chauffage des digesteurs et post-digesteurs (besoins en chaleur de processus) ne peuvent être compris dans le benchmarking étant donné qu'aucune installation participante ne dispose d'un compteur de chaleur approprié. Mais en supposant des besoins en chaleur de processus d'environ 30 % en moyenne sur la base de valeurs tirées de la littérature (fourchette allant de 20 à 40 % de besoins en chaleur en processus), l'utilisation globale de la chaleur, y compris la chaleur de processus, correspond à une part d'environ 65 % de la production brute de chaleur. Compte tenu du fait que les puits de chaleur constants (consommateurs de chaleur) manquent essentiellement durant les mois d'été, un taux d'utilisation total de la chaleur d'environ 65 % peut être considéré comme élevé, donc extrêmement positif.

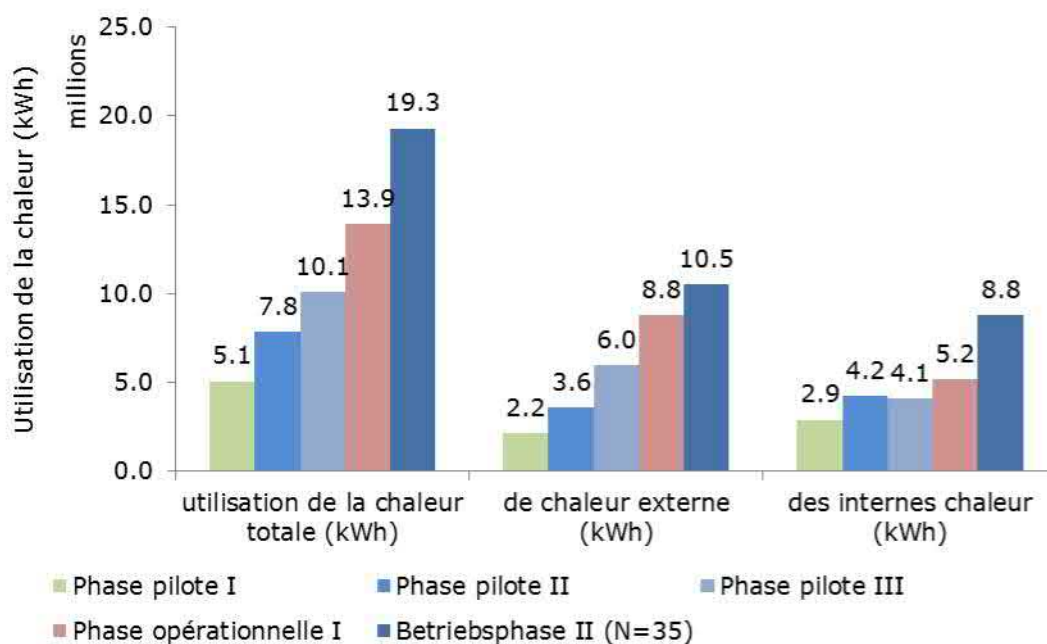


Figure 4 : Evolution de l'utilisation de la chaleur (seulement les installations de biogaz avec utilisation de la chaleur ; sans besoins propres en chaleur)

## 2.7 Emploi de substrats

L'emploi de substrats des installations de biogaz participant à la phase opérationnelle II est représenté par rapport aux quantités et à l'énergie dans les figures 5 et 6. La répartition des substrats ne suit pas la systématique de l'Ordonnance sur l'énergie (OEnE), Appendice 1.5 – Biomasse. En particulier, aucune distinction n'est faite entre les substrats d'origine agricole et non agricole.

Au total dans la phase opérationnelle II, près de 353'000 tonnes de substrats (engrais de ferme compris) ont été traitées dans les 36 installations participantes. Avec près de 83 %, les engrais de ferme représentaient la plus grande part par rapport à la masse. Outre les engrais de ferme, des substrats agricoles tels que les cultures intercalaires, la paille de maïs et les restes de fourrage ont été traités, mais ils revêtent une importance moindre avec une part nettement inférieure à 1 %. Près de 17 % du total des substrats utilisés étaient des déchets organiques d'origine agricole et non agricole. Les déchets organiques utilisés comprennent des restes de fruits et légumes (3.4 %), des déchets verts et des déchets de tonte (seulement les fractions méthanisables ; 1.6 %) ainsi que des déchets de restauration et déchets alimentaires (2.8 %). Sous la rubrique « autres substrats végétaux » (4.0 %), on trouve des substrats d'origine végétale des plus variés (par ex. marc de café, thé infusé, mélasse, déchets de distillerie). La rubrique « autres substrats animaux » (1.0 %) comprend différents substrats tels que lait, petit-lait, perméat ou contenu de la panse. Les substrats liquides végétaux riches en énergie ont une proportion de 2.4 %, les céréales et déchets de céréales une part de 1.8 %.

**Emploi de substrats des installations de biogaz participantes en 2016**

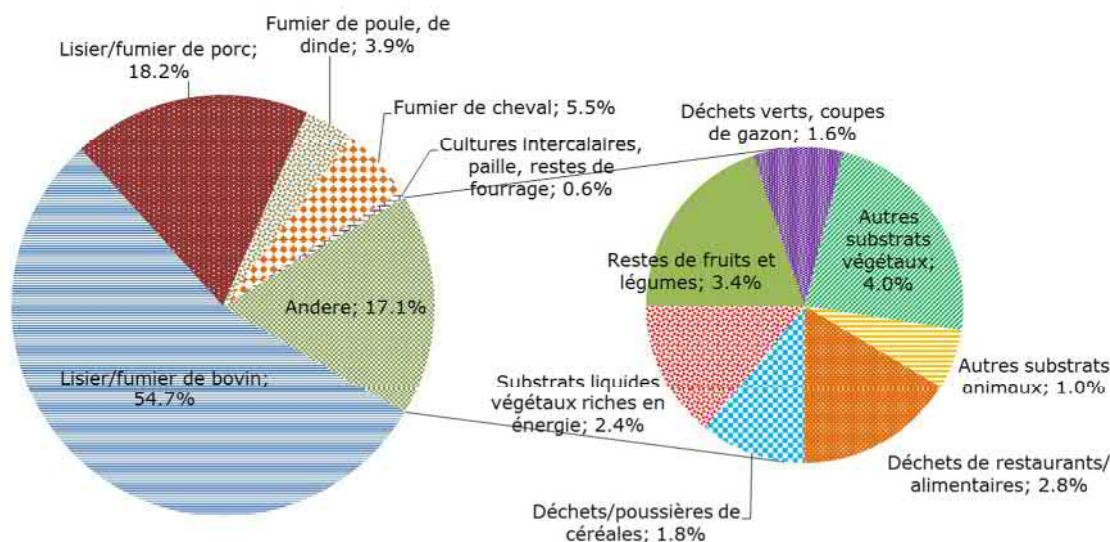


Figure 5 : Emploi de substrats des installations de biogaz en phase opérationnelle II (par rapport aux quantités)

En matière d'énergie, l'importance relative des engrais de ferme baisse pour atteindre une part d'environ 39 % (cf. figure 6). Au total d'un point de vue mathématique, environ 61 %

de l'énergie est produite à partir des co-substrats. Ce sont surtout les céréales et déchets de céréales ainsi que les substrats liquides végétaux riches en énergie qui contribuent à la production d'énergie avec respectivement 14 % et 21 %.

### Emploi de substrats des installations de biogaz participantes en 2016

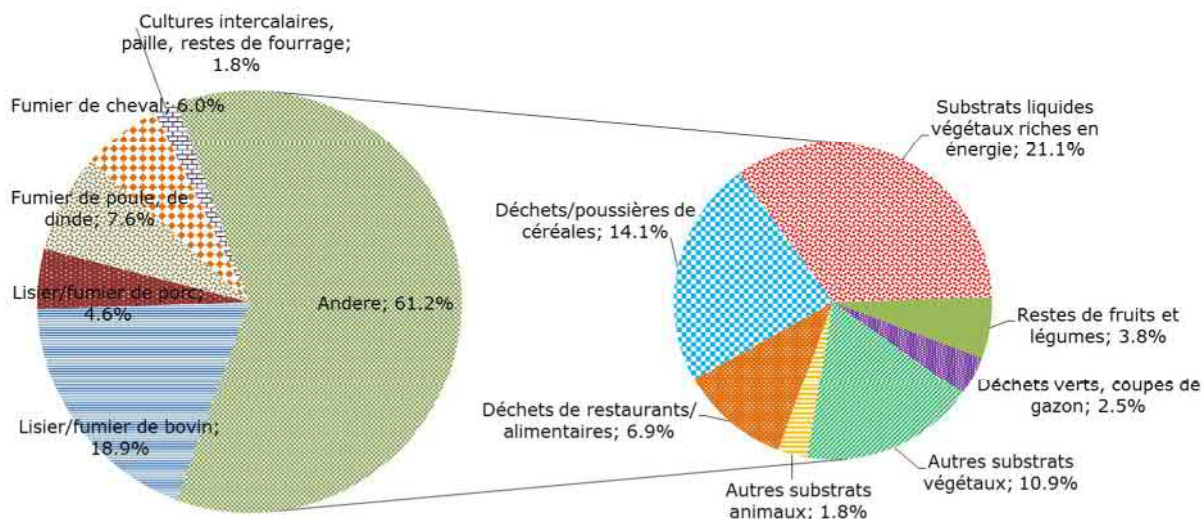


Figure 6 : Emploi de substrats des installations de biogaz en phase opérationnelle II (par rapport à l'énergie)

Par rapport à la phase opérationnelle 1 – année 2015, la part d'engrais de ferme en 2016 était plus élevée par rapport à la masse. En 2015, la part d'engrais de ferme avoisinait encore les 82.2 %, cultures intercalaires et résidus compris, ou 81.2 % sans ceux-ci, alors qu'en 2016, la part d'engrais de ferme a augmenté pour passer à 82.9 %, cultures intercalaires et résidus compris, ou 82.3 % sans ceux-ci. La part d'engrais de ferme a donc augmenté d'environ 1.4 %.

En matière d'énergie, on observe toutefois une évolution inverse. Alors qu'en 2015, près de 39.2 % de l'énergie provenait des engrais de ferme, cela ne représentait que 38.8 % en 2016. Cela correspond à une baisse d'environ 1 %. Cette évolution est due principalement à une hausse de la qualité des co-substrats utilisés.

Les graphiques sur l'emploi de substrats en 2015 figurent dans l'annexe.

## 2.8 Consommation propre d'électricité

Le taux de consommation propre d'électricité revêt une importance capitale pour le succès de l'exploitation d'une installation de biogaz. Les résultats du benchmarking montrent que la consommation propre s'élevait en moyenne à 11.3 % dans la phase opérationnelle II. Par rapport à l'année précédente, la consommation propre a augmenté d'environ 7.2 %. Les installations dans le quartile supérieur présentent une consommation propre de 5.1 %, celles des installations dans le quartile inférieur étant de 18.6 %.

Tableau 6 : Benchmarking de la consommation propre d'électricité

Benchmarking des indicateurs techniques :	Installations de biogaz		
	+25%	Ø	-25%
Simple comparaison des indicateurs			
Besoins propres en électricité (%)	5.1%	11.3%	18.6%
Besoins propres en électricité - variation 15/16 (%)	-1.2%	7.2%	2.5%

## 2.9 Rendements annuels

Les rendements annuels sont des indicateurs pour le rapport entre l'énergie électrique/thermique utile (et par conséquent délivrée)(= quantité d'énergie nette produite et utilisée) et l'énergie théorique totale fournie par le combustible. L'indicateur précise le pourcentage de la teneur énergétique théorique des substrats qui est réellement utilisé. L'indicateur permet de tirer des conclusions sur l'efficacité énergétique du processus de biogaz. Pour les rendements annuels, les besoins en chaleur pour le chauffage des digesteurs et post-digesteurs ne sont pas pris en compte car cette énergie utile ne peut être mesurée par aucune des installations de biogaz participant au benchmarking. Une évaluation des besoins en chaleur est très difficile car ceux-ci dépendent des capacités des cuves, de l'apport de substrats (avant tout des parts d'engrais de ferme) ainsi que de nombreux autres paramètres (par ex. saison et conditions météorologiques).

Tableau 7 : Benchmarking des rendements annuels énergétiques

Benchmarking des indicateurs biologiques :	Installations de biogaz		
	+25%	Ø	-25%
Simple comparaison des indicateurs			
Rendement annuel électrique utilisé en externe (%)	46.1%	40.4%	35.4%
Rendement annuel électrique des besoins propres en électricité (%)	2.3%	5.2%	8.4%
Rendement annuel thermique utilisé (%)	34.9%	18.8%	6.4%
Rendement annuel global utilisé (%)	79.6%	64.3%	52.9%
Variation 15/16 du rendement annuel électrique (%)	0.4%	0.2%	1.9%
Variation 15/16 du rendement annuel des besoins propres en électricité (%)	6.0%	9.5%	4.5%
Variation 15/16 du rendement annuel thermique utilisé (%)	0.7%	5.1%	40.5%
Variation 15/16 du rendement annuel global utilisé (%)	1.1%	2.3%	5.4%

Dans la moyenne des installations, le rendement annuel global s'élevait à environ 64.3 %. Dans la comparaison des indicateurs, il va de 79.6 % dans le quartile supérieur à 52.9 % dans le quartile inférieur. Par rapport aux années précédentes, le rendement annuel global a augmenté aussi bien dans la moyenne que dans les quartiles. Cette augmentation est due notamment à l'utilisation croissante de la chaleur des installations de biogaz.

## 2.10 Rendements électriques tirés des substrats

Dans la phase opérationnelle II, le rendement électrique découlant des substrats apportés était d'environ 142 kWh par rapport à une tonne de masse fraîche. Dans la comparaison des indicateurs, il va de 80 kWh dans le quartile inférieur à 228 kWh dans le quartile supérieur. La fourchette entre les quartiles s'est donc élargie par rapport à l'année précédente. Dans la phase opérationnelle II, on constate aussi une baisse du rendement électrique découlant des substrats. Cette baisse est due en particulier à la part toujours croissante des engrais de ferme dans les installations de biogaz.

Tableau 8 : Rendements électriques tirés des substrats

Benchmarking des indicateurs techniques :	Installations de biogaz		
	+25%	Ø	-25%
Simple comparaison des indicateurs			
Rendement électrique (kWhéi/t MF)	228	142	80
Variation 15/16 (%)	-9.8%	-5.2%	-12.5%

## 2.11 Temps de séjour et charge volumique

Le temps de séjour désigne la période moyenne pendant laquelle un substrat circule dans les cuves de l'installation de biogaz dans un système fermé (étanche aux gaz). Dans le benchmarking, l'indicateur du temps de séjour concerne un système fermé (digesteur et post-digesteur) car c'est ici qu'a lieu la réaction biologique des substrats. En principe, il faut viser un temps de séjour le plus élevé possible pour une réaction biologique maximale. Différents substrats nécessitent des temps de séjour plus ou moins longs. Alors que, par exemple, les engrais de ferme liquides et les résidus biogènes légèrement méthanisables peuvent être transformés en quelques jours ou semaines, les déchets organiques de structure riche et le fumier ont besoin de temps de séjour bien plus élevés. Plus le temps de séjour est faible, plus le risque est grand que le rendement de gaz baisse de manière significative et que de la matière biogène non digérée soit rejetée. En revanche, les longs temps de séjour sont limités pour des raisons de gestion d'exploitation car la construction de cuves est associée à des coûts d'investissement élevés. Par conséquent, il convient de trouver l'étendue optimale entre la charge volumique [ $\text{kg}\cdot\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ ] et le rendement de biogaz [ $\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$ ] ainsi que le taux de formation de biogaz [ $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ ] dans des conditions réelles.

Tableau 9 : Temps de séjour dans un système étanche aux gaz (digesteur et post-digesteur)

Benchmarking des indicateurs biologiques :	Installations de biogaz		
	+25%	Ø	-25%
Simple comparaison des indicateurs			
Temps de séjour hydraulique dans un système étanche aux gaz (jours)	104	60	28
Variation 15/16 (%)	4.8%	-2.7%	-2.8%

Dans la phase opérationnelle II, le temps de séjour moyen (évalué sur la base du temps de séjour moyen dans un espace étanche aux gaz) s'est maintenu à 60 jours. L'étendue entre les installations se trouvant dans les quartiles supérieur et inférieur est très grande. Dans le quartile supérieur, le temps de séjour était de plus de 100 jours. Dans le quartile inférieur en revanche, le temps de séjour moyen était de 28 jours.

La charge volumique des installations de biogaz est liée au temps de séjour. Dans le benchmarking, la charge volumique est mesurée en tant qu'apport moyen de matières sèches organiques par  $\text{m}^3$  de digesteur ou de système fermé (étanche aux gaz) (digesteur et post-digesteur) et par jour.

La charge volumique moyenne calculée dans un système étanche aux gaz s'est maintenue à environ  $2.5 \text{ kg MSo}/\text{m}^3$ . Pour les installations dans le quartile supérieur, la charge volumique de  $1.1 \text{ kg MSo}$  était bien plus faible que dans le quartile inférieur avec  $4.6 \text{ kg MSo}$ .

Par rapport à l'année précédente, la charge volumique moyenne dans un système étanche aux gaz a augmenté de 3.3 %.

Tableau 10 : Charge volumique des cuves de fermentation

Benchmarking des indicateurs biologiques :	Installations de biogaz		
	+25%	Ø	-25%
Simple comparaison des indicateurs			
Charge volumique du digesteur (kg MSo/m <sup>3</sup> )	1.6	4.3	8.1
Charge volumique du digesteur et post-digesteur (kg MSo/m <sup>3</sup> )	1.1	2.5	4.6
Variation 15/16 de charge volumique du digesteur (%)	-4.6%	-9.5%	-23.2%
Variation 15/16 de charge volumique du digesteur et post-digesteur (%)	-9.1%	3.3%	0.3%

## 2.12 Productivité de biogaz

La productivité de biogaz est un indicateur important car elle décrit le rendement potentiel en combustible découlant des substrats. Etant donné que la production réelle de biogaz n'est mesurée que dans quelques installations de biogaz, celle-ci doit être calculée sur une base théorique au moyen de l'apport annuel de substrats.

Dans le benchmarking, le rendement moyen de biogaz par tonne (t) de matière fraîche était d'environ 66 Nm<sup>3</sup>. Dans le quartile supérieur, les installations ont atteint 99 Nm<sup>3</sup> et dans le quartile inférieur 42 Nm<sup>3</sup>. Par rapport à l'année précédente, la productivité moyenne a été réduite de 6.9 %. Ainsi, la réduction dans le quartile supérieur était de 18.0 %, une augmentation de 6.0 % a pu être obtenue seulement dans le quartile inférieur.

Concernant la production de biogaz découlant de la matière sèche organique, la moyenne des installations s'élevait à 558 Nm<sup>3</sup>, dans le quartile supérieur à 719 Nm<sup>3</sup> et dans le quartile inférieur à 427 Nm<sup>3</sup>. Pour la moyenne de toutes les installations, la productivité de biogaz découlant de la matière sèche est restée pratiquement inchangée par rapport à la phase opérationnelle I. Cette évolution est due également à l'utilisation croissante d'engrais de ferme étant donné que ceux-ci procurent un faible potentiel de production de biogaz en rapport à la matière fraîche apportée.

Tableau 11 : Production de biogaz découlant des substrats

Benchmarking des indicateurs biologiques :	Installations de biogaz		
	+25%	Ø	-25%
Simple comparaison des indicateurs			
Production de biogaz par t de matière fraîche (Nm <sup>3</sup> )	99	66	42
Production de biogaz par t de matière sèche org. (Nm <sup>3</sup> )	719	558	427
Production de biogaz par m <sup>3</sup> du volume de digesteur et par jour (Nm <sup>3</sup> )	4.2	2.3	0.9
Variation 15/16 de biogaz par t de MF (%)	-18.0%	-6.7%	6.0%
Variation 15/16 de biogaz par t de MSo (%)	-0.1%	0.0%	-3.4%
Variation 15/16 de biogaz par m <sup>3</sup> de digesteur (%)	-27.9%	-11.9%	-4.0%



### 3. Synthèse des résultats

Le nombre d'installations de biogaz participant au benchmarking du biogaz a encore augmenté en phase opérationnelle II. Jusqu'à présent, près de 40 % des installations de biogaz agricole qui sont membres de la coopérative Ökostrom Schweiz ont participé au benchmarking du biogaz. En ce qui concerne la répartition régionale des installations, la puissance électrique installée et l'emploi de substrats, on peut partir du principe que l'échantillon examiné constitue déjà une bonne représentativité pour la branche du biogaz agricole en Suisse. En phase opérationnelle II, un grand nombre d'installations de biogaz plus récentes, de taille petite et moyenne, notamment de la Romandie, ont été intégrées au benchmarking. Compte tenu de la progression constante du pool d'installations, la comparabilité des indicateurs d'une année à l'autre est cependant un peu limitée et pour l'interprétation des résultats au fil des ans, il convient de faire preuve d'un peu de prudence.

Les résultats de la phase opérationnelle II documentent l'état actuel de la production de biogaz agricole et démontrent aussi bien des évolutions positives au sein de la branche globale que des potentiels d'évolution des installations individuelles participantes. Cela se traduit par des écarts en partie assez importants entre les installations de biogaz pour certains indicateurs.

Les résultats du benchmarking montrent que les exploitants d'installations agricoles cherchent en permanence à augmenter la productivité et l'efficacité de leurs installations de biogaz. Dans la moyenne des installations de biogaz, le rendement annuel énergétique avoisinait les 64 % en ne tenant pas compte des besoins propres en chaleur de processus. Les installations dans le quartile supérieur montrent clairement qu'il est possible d'utiliser presque la totalité de l'énergie théorique disponible dans les substrats et de la transformer en énergie utile grâce à un concept intelligent d'utilisation de la chaleur. Concernant les rendements annuels énergétiques allant jusqu'à 80 % (sans chaleur de processus), on peut parler d'une exploitation énergétique quasi intégrale de l'apport d'énergie théorique. Pour ces installations, il n'y a guère de potentiel d'augmentation supplémentaire des rendements sans un agrandissement ou une modernisation de l'installation de biogaz ou l'investissement dans des technologies de prétraitement et de post-traitement des substrats pour une augmentation d'efficacité issue de la biomasse. Cependant, il existe encore d'importants potentiels de développement pour quelques installations de biogaz. Ces potentiels peuvent être mis à profit tant au moyen d'une utilisation renforcée de la chaleur que d'une production d'électricité ou de mesures de gestion d'exploitation optimisées.

La production d'électricité des installations de biogaz est en constante progression, tant du point de vue de la puissance installée que de celui de la puissance équivalente en particulier. Ces dernières années, un grand nombre d'installations de biogaz ont franchi d'importantes étapes d'agrandissement qui ont contribué à une hausse de la production d'électricité. Pour des installations identiques des phases opérationnelles I et II, l'augmentation moyenne de la production d'électricité s'élevait à seulement 1 % environ. En revanche, l'utilisation de la chaleur s'est fortement développée ces dernières années. Cette évolution peut être considérée comme très positive, surtout compte tenu du fait qu'il peut être difficile de développer, sur des exploitations agricoles décentralisées, des voies sophistiquées d'utilisation de la chaleur qui nécessitent d'une part des quantités de chaleur élevées de manière relativement constante et d'autre part qui prélèvent aussi de la chaleur durant

l'été dans la mesure du possible. L'utilisation de la chaleur s'était déjà nettement développée au cours des phases pilotes, et cette tendance s'est poursuivie durant les phases opérationnelles. Non seulement l'utilisation de la chaleur s'est renforcée sur les exploitations agricoles, donc l'utilisation de la chaleur au sein des exploitations, mais aussi l'utilisation externe de la chaleur par des acheteurs étrangers à l'exploitation. Des investissements massifs ont eu lieu dans l'utilisation de la chaleur, avant tout dans l'agrandissement des réseaux de chauffage locaux. Au total, plus de 50 % de la chaleur produite au-delà des besoins en chaleur de processus sont utilisés.

La base des substrats des installations biogaz se compose à nettement plus de 80 % d'engrais de ferme. L'emploi d'engrais de ferme n'a cessé d'augmenter en termes tant absolus que relatifs par rapport aux années précédentes. L'usage accru des engrais de ferme est à approuver totalement pour des raisons de politique environnementale et climatique, mais les engrais de ferme ne sont guère riches en énergie par rapport aux déchets organiques ou cultures intercalaires. Cela doit être compensé par l'emploi de déchets organiques riches en énergie, appelés co-substrats. Dans l'ensemble, le rendement électrique tiré des substrats a connu un nouveau recul en raison de la progression de l'utilisation d'engrais de ferme et il se situait aux alentours de 140 kWh par tonne de masse fraîche de substrats apportés.

Les indicateurs concernant la consommation propre d'électricité et le taux d'utilisation des installations CCF ou les heures de pleine charge montrent qu'il existe encore des possibilités d'optimisation pour de nombreuses installations de biogaz.

La consommation propre de courant s'élevant à 11.3 % en moyenne est considérée comme élevée dans le cadre d'une comparaison européenne, ceci étant dû entre autres aux compositions distinctes du mix de substrats et à la manipulation associée des substrats (mélangeurs, pompes, etc.). Alors que les besoins propres en électricité n'ont cessé de baisser dans la phase pilote lors de l'examen d'installations identiques, ils ont de nouveau augmenté dans les phases opérationnelles I et II. Cette augmentation peut s'expliquer d'une part par l'intégration de nouvelles installations de biogaz, d'autre part par un prétraitement et un conditionnement croissants des substrats, qui consomment beaucoup d'énergie. Dans l'ensemble, l'écart entre les installations est particulièrement important dans la consommation propre d'électricité et constitue donc un levier important pour les solutions d'optimisation spécifiques aux exploitations.

Plus le taux d'utilisation est élevé, plus les heures de pleine charge sont en principe à la disposition de la production. Comme les évaluations le montrent, la charge de travail des installations de biogaz est particulièrement hétérogène. Le taux d'utilisation était de 80 % en moyenne pour les plus petites installations de biogaz. En revanche, les plus grandes installations ont enregistré un taux d'utilisation de 70 %. Le plus faible taux d'utilisation des plus grandes installations est lié à des extensions de CCF (CCF de remplacement, révision d'une ancienne CCF avec augmentation de puissance, installation d'une deuxième CCF). Les investissements réalisés dans des puissances CCF supplémentaires influencent considérablement les indicateurs sur la charge (heures de pleine charge) car des augmentations de puissance y sont associées et l'augmentation de la production de biogaz dans la pratique n'augmente que petit à petit au fil des ans dans la plupart des cas. Ces prochaines

années, d'autres optimisations de gestion et d'organisation doivent continuer à accompagner les agrandissements des installations afin d'augmenter progressivement la puissance équivalente. Les résultats de la phase opérationnelle II montrent que les installations de taille assez importante ont déjà pu augmenter nettement leurs capacités en 2016 et que les optimisations d'installations sont mises en œuvre constamment.

## 4. Annexe

### Emploi de substrats des installations de biogaz participantes en 2015

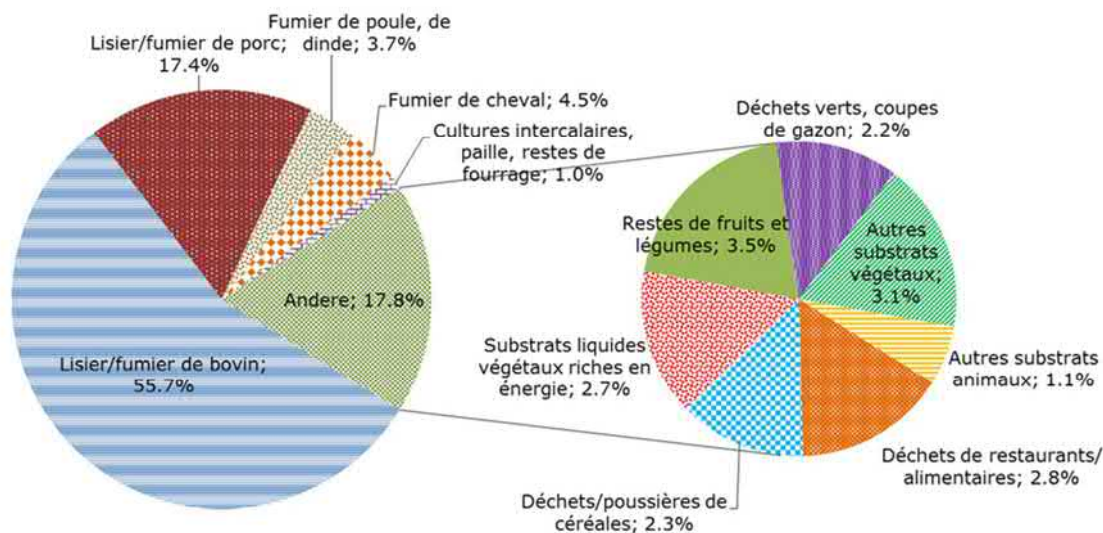


Figure A-1 : Emploi de substrats des installations de biogaz en phase opérationnelle I (par rapport à la masse)

### Emploi de substrats des installations de biogaz participantes en 2015

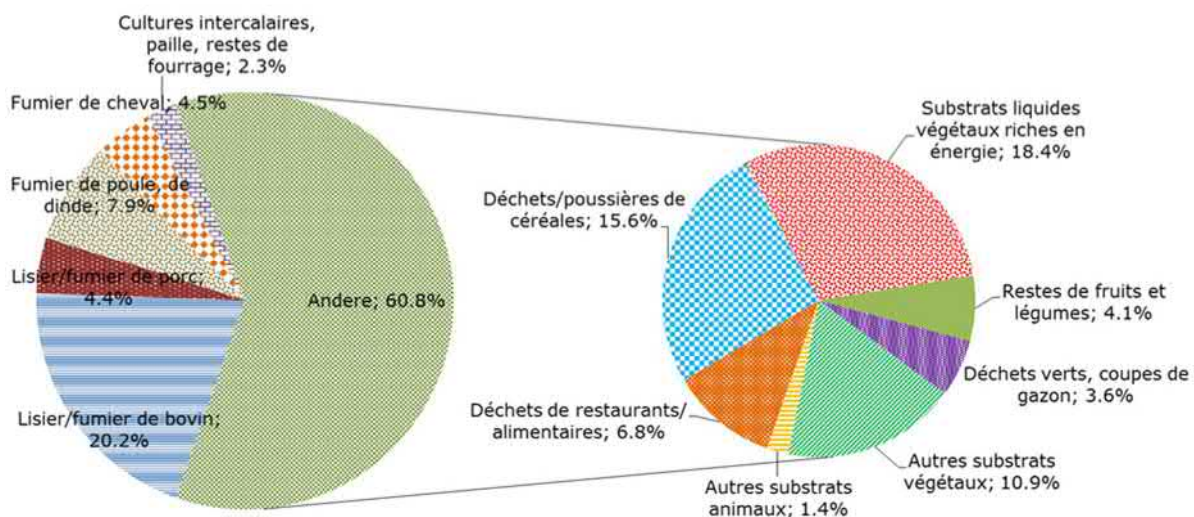


Figure A-2 : Emploi de substrats des installations de biogaz en phase opérationnelle I (par rapport à l'énergie)