



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 de synthèse

Analyse de cycle de vie de la production centralisée et décentralisée de biogaz en exploitations agricoles

Rapport de synthèse



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'économie DFE
Stations de recherche
Agroscope Reckenholz-Tänikon ART
Agroscope Changins-Wädenswil ACW



Ernst Basler + Partner AG

Mandant:

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

Mandataire:

ENERS Energy Concept
Case postale 56
CH-1015 Lausanne
www.eners.ch

Partenaires:

Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART)
191, Reckenholzstrasse 191
CH-8046 Zürich
www.art.admin.ch

EREP
28, Chemin du Coteau
Z.I. de la Plaine
CH-1123 Aclens
www.erep.ch

Ernst Basler + Partner (EBP)
65, Zollikerstrasse
CH-8702 Zollikon
www.ebp.ch

Agroscope Changins-Wädenswil (ACW)
Route de Duillier
Case postale 1012
CH-1260 Nyon
www.acw.admin.ch

Auteurs:

Arnaud Dauriat, ENERS Energy Concept, arnaud.dauriat@eners.ch
Gérard Gaillard, ART, gerard.gaillard@art.admin.ch
Martina Alig, ART, martina.alig@art.admin.ch
Deborah Scharfy, ART, deborah.scharfy@art.admin.ch
Yves Membrez, EREP, yves.membrez@erep.ch
Nathalie Bachmann, EREP, nathalie.bachmann@erep.ch
Reto Steiner, EBP, reto.steiner@ebp.ch
Raphaël Charles, ACW, raphael.charles@acw.admin.ch
Alexandra Maltas, ACW, alexandra.maltas@acw.admin.ch
Sokrat Sinaj, ACW, sokrat.sinaj@acw.admin.ch

Responsable de domaine de l'OFEN: Sandra Hermle

Chef de programme de l'OFEN: Sandra Hermle

Numéro du contrat et du projet de l'OFEN: 154352 / 103304

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

Table des matières

1. INTRODUCTION	5
2. DÉFINITION DU CADRE D'ÉTUDE.....	5
3. EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL (AVEC PRISE EN COMPTE DES SUBSTRATS « NON-DÉCHETS »)	8
3.1 SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DE L'ACV.....	8
3.2 COMMENTAIRES RELATIFS À L'EFFET DE LA GLYCÉRINE	8
4. EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL (SANS PRISE EN COMPTE DES SUBSTRATS « NON-DÉCHETS »)	11
4.1 SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DE L'ACV.....	11
4.2 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS ET ANALYSE DE SENSIBILITÉ	14
5. ETUDES DE CAS.....	15
6. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	16
7. ABRÉVIATIONS ET UNITÉS.....	19

Abstract

On dénombre en Suisse 72 installations de biogaz agricole (chiffres 2010). En termes d'énergie, environ 45,8 GWh sous forme d'électricité et 6,7 GWh sous forme de biométhane sont produits annuellement. Le contexte géographique et politique a donné lieu au développement d'installations de tailles sensiblement différentes (de 50 kW_e à près de 1'000 kW_e de puissance électrique installée). Si l'augmentation de la capacité de traitement (et donc de production) permet en théorie de meilleurs rendements de conversion de la matière organique, une efficacité énergétique plus favorable, et une meilleure utilisation de l'infrastructure, elle nécessite en revanche un plus grand rayon de collecte des substrats. La présente étude a pour objectif principal la comparaison de systèmes centralisés et décentralisés de production de biogaz en milieu agricole au moyen d'une analyse de cycle de vie (ACV). Cette étude s'appuie en particulier sur des cas concrets d'exploitations de biogaz agricole sur l'ensemble du territoire suisse. Les résultats de l'étude permettent de préciser le type d'installations de biogaz agricole le plus performant du point de vue environnemental.

Ce rapport précise dans un premier temps la typologie des installations de production de biogaz agricole et définit 7 cas de référence, allant d'une petite installation (50 kW_e) décentralisée sans co-substrats jusqu'à une grande installation (350 kW_e) centralisée traitant 50% de co-substrats. Les résultats de l'ACV sont présentés et interprétés pour les 7 cas de référence selon trois méthodes d'évaluation d'impact environnemental : la consommation d'énergie primaire non-renouvelable, les émissions de gaz à effet de serre et l'impact environnemental global (selon la méthode de la saturation écologique ou UBP). Une analyse de sensibilité vis-à-vis des paramètres les plus significatifs vient compléter l'ACV.

Afin d'évaluer l'effet d'une installation de biogaz au sein d'une exploitation agricole, trois exploitations ont fait l'objet d'une analyse plus approfondie sous forme d'études de cas. Ces études de cas concernent notamment une petite installation de biogaz (15 kW_e) sans co-substrat, une petite installation de biogaz (45 kW_e) avec co-substrats, et une grande installation de biogaz (200 kW_e) collective avec co-substrats. D'autres catégories d'impacts sont ici prises en considération (en plus de la consommation d'énergie primaire non-renouvelable et des émissions de GES), notamment l'eutrophisation, l'acidification, l'écotoxicité aquatique, la formation d'ozone et le bilan humique. Ces trois études de cas fournissent différents éléments sur les conséquences de la production de biogaz sur le bilan écologique des exploitations agricoles.

Ce rapport présente enfin les conclusions générales de l'étude et propose des recommandations concernant la production centralisée et décentralisée de biogaz agricole en Suisse.

1. Introduction

Les ressources visées par les installations de biogaz agricole se caractérisent par leur nature éparsée et diversifiée (type, nature, qualité). Dès lors, la répartition géographique et l'aspect logistique de la collecte revêtent une importance capitale (du point de vue économique, mais aussi et surtout ici du point de vue environnemental).

Les objectifs de la présente étude sont les suivants :

- Analyse de cycle de vie (ACV) de la production de biogaz agricole en fonction de la taille des installations sur la base de cas concrets d'exploitations en Suisse
- Analyse comparative des résultats et identification des principaux déterminants de la performance environnementale de la production de biogaz agricole
- Elaboration de recommandations pratiques destinées aux exploitants, investisseurs et acteurs politiques quant à la taille des installations de biogaz agricole

La caractérisation de la production de biogaz agricole dans le cadre de la présente étude repose sur des données réelles et actuelles relatives à des installations de production de biogaz agricole en Suisse. Ces dernières ont été obtenues auprès de producteurs sur l'ensemble du territoire suisse par le biais d'un questionnaire élaboré par l'ensemble des partenaires du projet.

Ce Rapport de synthèse présente les principaux résultats de l'analyse de cycle de vie (ACV) de la production centralisée et décentralisée de biogaz agricole en Suisse. Trois catégories d'impact sont retenues pour cette ACV : la consommation d'énergie primaire non-renouvelable, les émissions de gaz à effet de serre et l'impact environnemental global (selon la méthode de la saturation écologique ou UBP). Ce Rapport de synthèse présente également les résultats des trois études de cas visant à compléter l'ACV avec une approche à l'échelle de l'exploitation agricole. Il propose enfin les conclusions générales de l'étude et diverses recommandations quant à la production centralisée et décentralisée de biogaz agricole en Suisse.

Pour plus de détails concernant les différents points abordés dans ce Rapport de synthèse, le lecteur est prié de se référer au Rapport final de la présente étude.

2. Définition du cadre d'étude

La présente étude a pour but la comparaison de la production centralisée et décentralisée de biogaz agricole dans le contexte helvétique, en termes d'analyse de cycle de vie (ACV). Afin de caractériser les installations de production de biogaz agricole de la manière la plus réaliste et la plus actuelle possible, un questionnaire élaboré par l'ensemble des partenaires du projet a été soumis à une trentaine de producteurs en Suisse, pour un total de 18 réponses.

Sur la base des réponses au questionnaire, 7 cas de références ont été définis selon 3 paramètres : la taille de l'installation (définie ici par la puissance électrique du cogénérateur), la part des co-substrats et enfin la distance moyenne de transport des co-substrats. Concernant la taille, 3 cas sont envisagés, à savoir 50, 150 et 350 kW_e. Concernant la part des co-substrats, là-aussi 3 cas sont envisagés, à savoir 0, 20 et 50% (de la masse totale de substrats). Enfin, 3 situations sont retenues quant à la distance moyenne d'approvisionnement des co-substrats, soit 5, 20 et 35 km, associées respectivement aux installations de 50, 150 et 350 kW_e. Les 7 cas de référence et les paramètres y-relatifs sont présentés au Tableau 1, du plus décentralisé au plus centralisé.

Tableau 1 – Définition des cas de référence

Paramètres		P50-CS0-KM0	P50-CS20-KM5	P50-CS50-KM5	P150-CS20-KM20	P150-CS50-KM20	P350-CS20-KM35	P350-CS50-KM35
Puissance du cogénérateur	kW _e	50	50	50	150	150	350	350
Production de biogaz	1000 m ³ /an	200	200	200	600	600	1'400	1'400
Part des co-substrats	% m/m	0%	20%	50%	20%	50%	20%	50%
Transport des co-substrats	km	0	5	5	20	20	35	35
Rendement moyen de biogaz								
Engrais de ferme	m ³ /t	27	27	27	27	27	27	27
Co-substrats	m ³ /t	-	180	180	180	180	180	180
Total des substrats	m ³ /t	27	57	103	57	103	57	103
Quantités de substrats traitées								
Engrais de ferme	t/an	7'486	2'787	966	8'360	2'899	19'506	6'765
Co-substrats	t/an	0	697	966	2'090	2'899	4'877	6'765
Total	t/an	7'486	3'483	1'933	10'450	5'799	24'383	13'530
Contribution à la production de biogaz								
Engrais de ferme	%	100%	37%	13%	37%	13%	37%	13%
Co-substrats	%	0%	63%	87%	63%	87%	63%	87%
Total des substrats	%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Digestat brut								
Quantités produites	t/an	7'236	3'239	1'691	9'718	5'073	22'674	11'838
Transport	t/an	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5

Ces 7 cas de référence ont été décrits et caractérisés de manière complète, du point de vue à la fois technique et environnemental, depuis la collecte des engrais de ferme et co-substrats jusqu'à la cogénération d'électricité et de chaleur en passant par la production de biogaz. Les caractéristiques suivantes s'appliquent à l'ensemble des cas de référence :

- le stockage des substrats et digestats est de type « couvert » ;
- les installations sont équipées d'un post-fermenteur ;
- les cuves sont en béton ;
- le digestat brut est valorisé tel quel, sans séparation solide/liquide ;
- la demande d'énergie est satisfaite par l'électricité et la chaleur produites par cogénération (moteur biogaz) ;
- le nombre de jours d'arrêt est pris égal à 2 jours, indépendamment des caractéristiques techniques des installations (méthanisation et cogénération) ;
- la distance moyenne de transport des digestats s'élève à 6,5 km (indépendamment de la taille de l'installation ou des quantités produites).

Toujours sur la base des réponses au questionnaire, une composition type a été adoptée pour les engrais de ferme et les co-substrats. La composition et le rendement de biogaz par type de substrat sont établis selon les valeurs moyennes de FAT (2000). Les valeurs économiques des différents substrats ont été établies selon la moyenne pondérée sur l'ensemble des producteurs de biogaz (au prorata des quantités traitées).

Les engrais de ferme sont constitués de lisier de bovins (55%), fumier de bovins (12%) et lisier de porcins (33%). Les teneurs moyennes en matière sèche (MS), matière organique (MO) et carbone (C) s'élèvent respectivement à 8,6%, 6,5% et 5,1% de la masse totale. La production moyenne de biogaz s'élève à 27 m³ par tonne d'engrais de ferme. La caractérisation des co-substrats est présentée au Tableau 2.

Tableau 2 – Caractérisation des engrais de ferme

Substrats	Part des substrats % m/m	Biogaz m ³ /t	Valeur économique moyenne CHF/t
Engrais de ferme			0,00
Lisier de bovins	55%	25	0,00
Fumier de bovins	12%	66	0,00
Lisier de porcs	33%	16	0,00
Total des engrais de ferme	100%	27	0,00

Les co-substrats sont constitués de sous-produits de l'industrie (70%), déchets organiques communaux (22%) et autres co-substrats (8%). Les teneurs moyennes en MS, MO et C s'élèvent respectivement à 30,2%, 25,9% et 16,0% de la masse totale. La production moyenne de biogaz s'élève à 180 m³ par tonne de co-substrats. La caractérisation des co-substrats est présentée au Tableau 3.

Tableau 3 – Caractérisation des co-substrats

Substrats	Part des substrats % m/m	Biogaz m ³ /t	Valeur économique moyenne * CHF/t
Sous-produits de l'industrie	70%	139	-25,80
Déchets de légumes	50%	52	-24,00
Marc de café	8%	112	-27,50
Déchets de céréales	12%	524	-32,50
Déchets organiques communaux	22%	125	-135,30
Gazon	5%	80	-30,00
Déchets de jardins	6%	233	-120,00
Biodéchets ménagers	6%	100	-95,40
Lavures, déchets alimentaires	5%	76	-291,20
Autres substrats	8%	682	+127,40
Glycérine	5%	493	+208,30
Huiles comestibles usagées	3%	980	0,00
Total des co-substrats	100%	180	-37,60

* Une valeur négative indique un prix payé au producteur de biogaz ; une valeur positive, un prix payé par le producteur.

Sur cette base, des inventaires de cycle de vie détaillés ont été élaborés pour chaque cas de référence et pour chaque étape de la filière (transport des substrats, stockage des substrats, production de biogaz, stockage des digestats, et enfin transport des digestats).

Ces cas de référence ont ensuite été évalués selon 3 critères d'impacts environnementaux, à savoir la consommation d'énergie primaire non-renouvelable (méthode CED), les émissions de gaz à effet de serre (méthode IPCC 2007), et l'impact environnemental global (méthode UBP 06). Une analyse de sensibilité a enfin été menée afin d'identifier les principaux déterminants de l'impact environnemental selon les catégories.

3. Evaluation de l'impact environnemental (AVEC prise en compte des substrats « non-déchets »)

3.1 Synthèse des résultats de l'ACV

Les résultats de l'ACV (voir Figure 1) ont permis de mettre en évidence l'effet majeur de la présence de co-substrats « non-déchets »¹ tels que la glycérine issue de la production de biodiesel. Malgré une faible part parmi les co-substrats (seulement 5% m/m des co-substrats) et une contribution relativement modeste à la production totale de biogaz (9-12% selon les cas de référence), cette dernière représente en effet la principale contribution aux impacts environnementaux liés à la production de biogaz (de l'ordre de 70-80% de la consommation d'énergie primaire non-renouvelable et de l'impact environnemental global, et de l'ordre de 35-50% des émissions de GES selon les cas de référence).

Du point de vue de la consommation d'énergie primaire non-renouvelable et de l'impact environnemental global, la glycérine pénalise la production de biogaz et procure ainsi aux cas avec co-substrats un bilan écologique largement moins favorable que pour le cas sans co-substrats (d'un facteur supérieur à 3 en moyenne), et ce malgré l'allocation des impacts entre les fonctions « production de biogaz » et « traitement des déchets » pour les cas avec co-substrats. Concernant les émissions de GES, en revanche, le bilan écologique est en faveur des cas avec co-substrats, principalement du fait de l'impact spécifique moindre de la glycérine relativement aux autres sources d'impact pour cette catégorie et de l'attribution d'une partie des impacts à la fonction « traitement des déchets » (environ 25-40% selon les cas).

Concernant la production d'électricité à partir de biogaz agricole (voir Figure 2), l'impact est très largement dominé par le combustible (le biogaz), indépendamment de la catégorie d'impacts. La combustion et l'infrastructure jouent un rôle marginal. Si l'électricité produite à partir de biogaz présente une consommation d'énergie primaire non-renouvelable très inférieure à celle des mix électriques suisse et européen, les émissions de GES et l'impact environnemental global lui sont en revanche défavorables. La production d'électricité à partir de biogaz selon les cas étudiés présente un bilan d'émissions de GES du même ordre de grandeur que la référence « gaz naturel, cycle combiné » (soit 0,43 kg CO₂ eq./kWh), sensiblement au-dessus du mix électrique suisse (0,15 kg CO₂ eq./kWh), mais en dessous du mix électrique européen (0,60 kg CO₂ eq./kWh). L'impact environnemental global est le plus défavorable, hormis pour le cas sans co-substrats.

3.2 Commentaires relatifs à l'effet de la glycérine

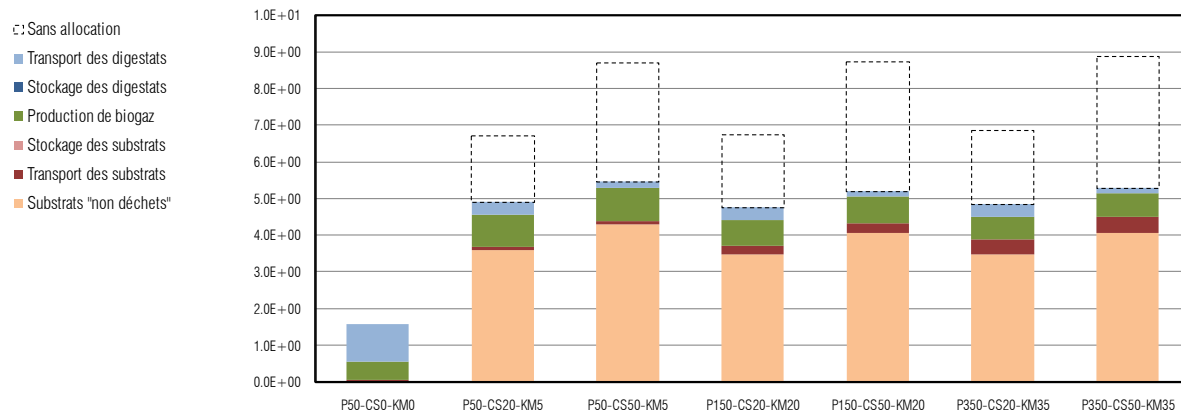
L'effet majeur de la présence de co-substrats « non-déchets » tels que la glycérine dans l'ACV de la production de biogaz est mis en évidence dans les résultats qui précèdent. Toutefois, l'effet de la glycérine surpasse ici tous les autres effets liés par exemple à la taille de l'installation, aux distances de transport des engrais de ferme et co-substrats, etc. Aussi, afin de traiter au mieux la problématique au centre de la présente étude (production centralisée vs. production décentralisée de biogaz), l'ACV a été reprise, en excluant la glycérine, c'est-à-dire en considérant celle-ci comme un déchet avec un impact nul au lieu de collecte.

A noter par ailleurs que l'impact spécifique de la glycérine (issue de la production de biodiesel) fait l'objet d'une mise à jour dans le cadre d'un autre projet du même programme de recherche Biomasse². Cette mise à jour reposera notamment sur des conditions cadres actuelles et devraient vraisemblablement conduire à une réduction de l'impact spécifique de la glycérine (aux dépends du biodiesel, de la production duquel celle-ci est issue).

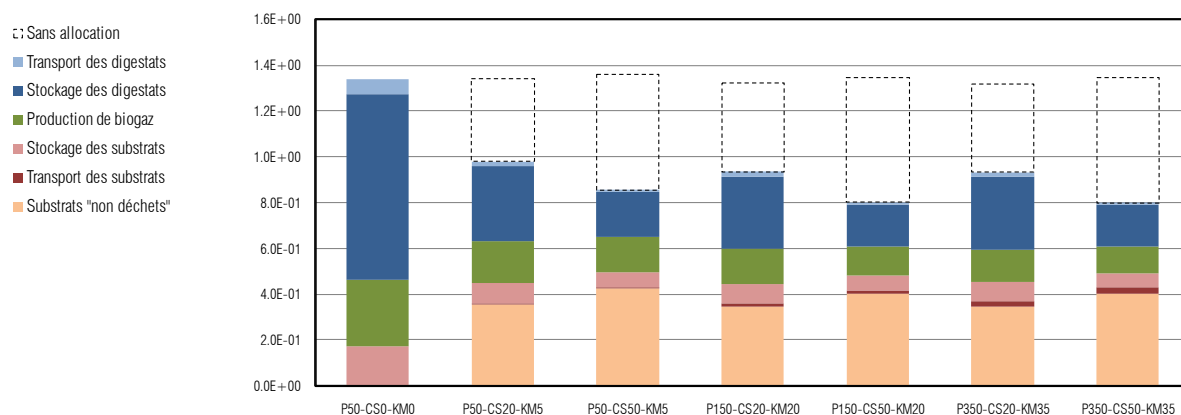
¹ Les co-substrats « non-déchets » font ici référence aux co-substrats à valeur économique positive (voir Tableau 3), qui représentent donc un coût pour le producteur de biogaz. C'est le cas notamment de la glycérine.

² Harmonisierung und Erweiterung der Bioenergie-Ökoinventare und -Ökobilanzen, EMPA-ART-PSI-ecoinvent-Center-DOKA Ökobilanzen.

Consommation d'énergie primaire non-renouvelable (MJ_p/m^3 biogaz)



Emissions de GES ($\text{kg CO}_2 \text{eq}/\text{m}^3$ biogaz)



Impact environnemental global (UBP/m^3 biogaz)

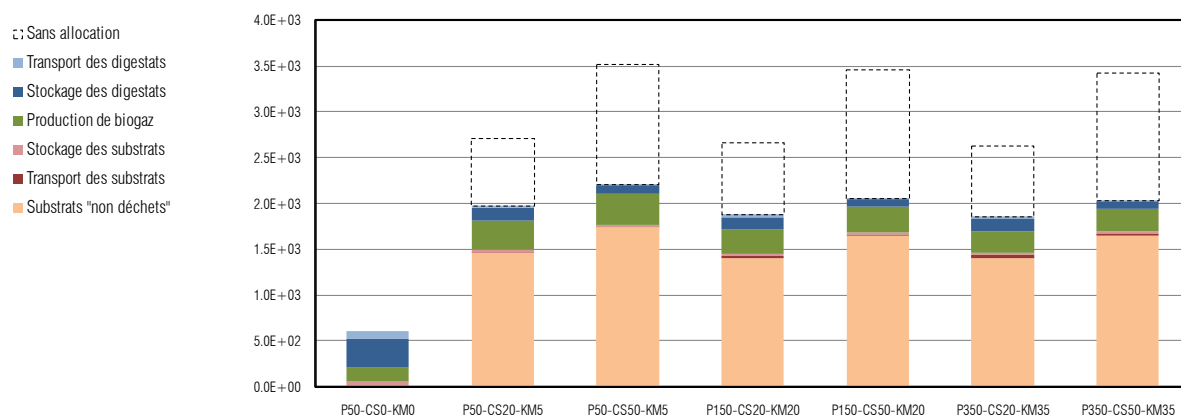
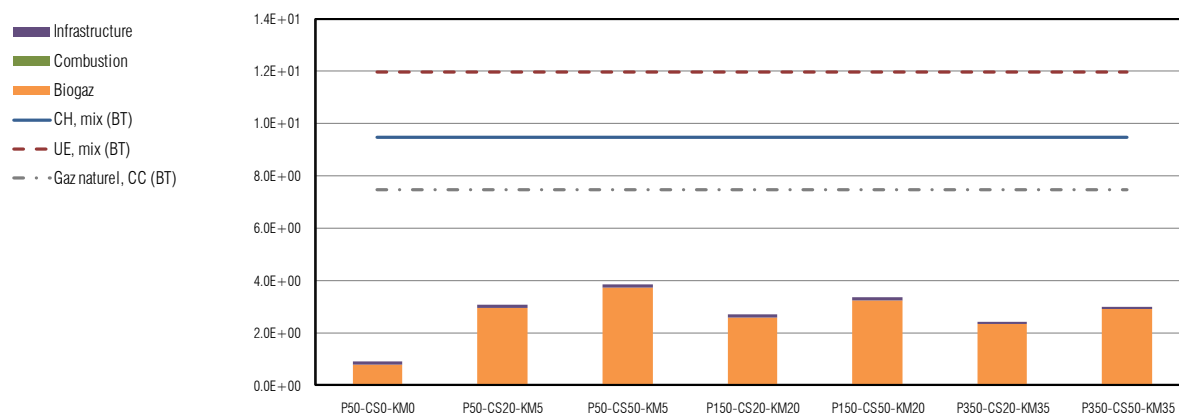
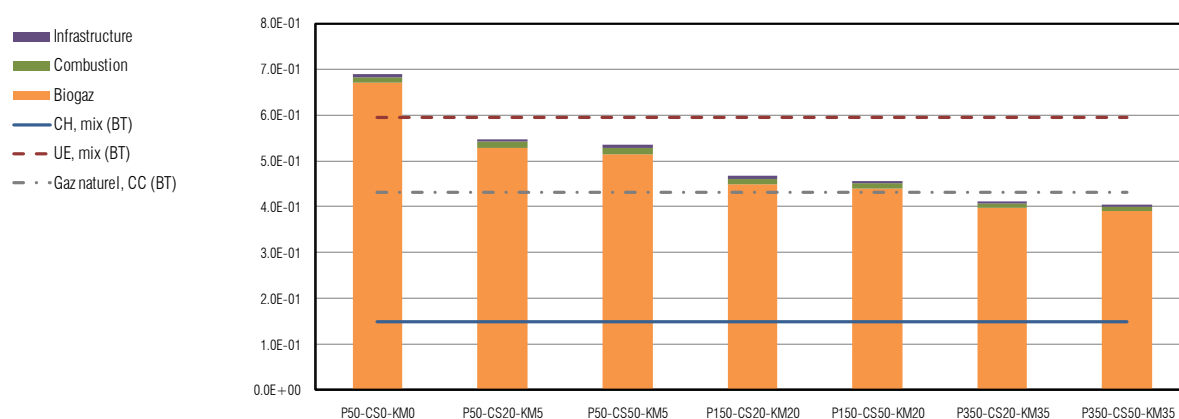


Figure 1 – Résultats de l'ACV de la production de biogaz agricole selon les 7 cas de référence (AVEC prise en compte des substrats « non-déchets »)

Consommation d'énergie primaire non-renouvelable (MJ_p/kWh)



Emissions de GES (kg CO₂ eq./kWh)



Impact environnemental global (UBP/kWh)

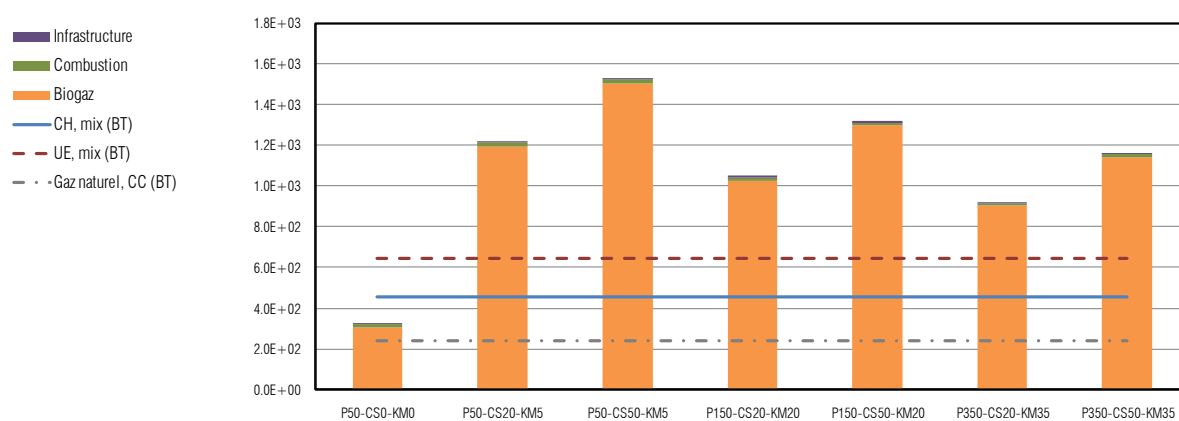


Figure 2 – Résultats de l'ACV de la production d'électricité à partir de biogaz agricole selon les 7 cas de référence (AVEC prise en compte des substrats « non-déchets »)

La référence « Gaz naturel, CC (BT) » désigne une électricité basse tension produite à partir de gaz naturel dans une centrale à cycle combiné selon la meilleure technologie actuelle (rendement 57,5%)

4. Evaluation de l'impact environnemental (SANS prise en compte des substrats « non-déchets »)

4.1 Synthèse des résultats de l'ACV

Les résultats de l'ACV reprise en excluant les effets liés aux substrats « non-déchets » (voir Figure 3) ont permis de mettre en évidence les effets liés à la part des co-substrats et les effets combinés de la taille et de la distance d'approvisionnement des co-substrats.

De manière générale et indépendamment de la catégorie d'impact, pour une taille d'installation donnée, plus la part de co-substrats est grande, plus l'impact de la production de biogaz est faible.

Pour une part donnée de co-substrats, la situation diffère selon la catégorie d'impact. Concernant la consommation d'énergie primaire non-renouvelable, plus la distance d'approvisionnement est grande (et donc plus l'installation est grande selon la définition des cas de référence), plus l'impact est élevé. L'augmentation de la taille ne compense pas l'augmentation de la distance d'approvisionnement. Concernant les émissions de GES et l'impact environnemental global, l'augmentation de la taille (augmentation des rendements de cogénération, diminution de l'impact spécifique de l'infrastructure) compense l'augmentation de la distance d'approvisionnement des co-substrats, de sorte que l'effet combiné de la taille et de la distance d'approvisionnement des co-substrats semble presque négligeable.

Pour l'ensemble des cas considérés, la consommation d'énergie primaire non-renouvelable est largement dominée par les étapes de transport (substrats et digestats). Les émissions de GES et l'impact environnemental global, en revanche, sont dominés par le stockage des digestats et dans une moindre mesure par le stockage des substrats.

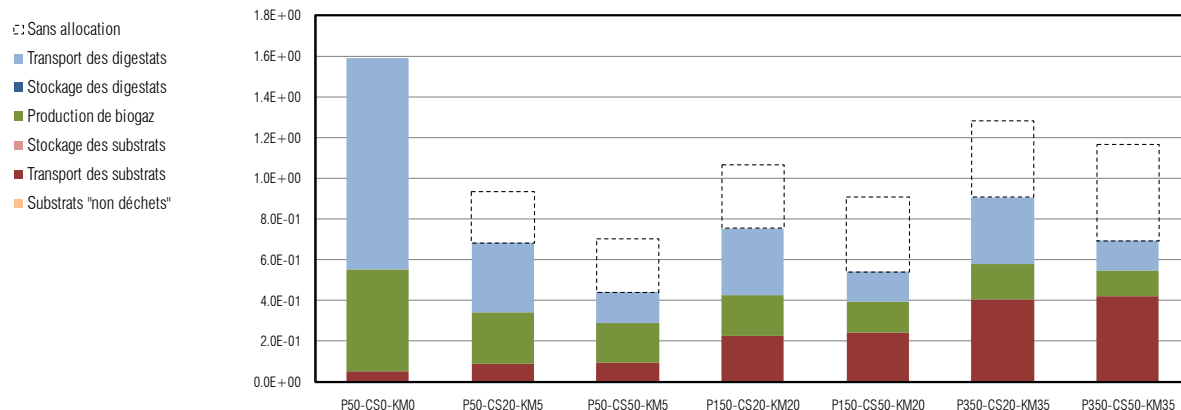
Indépendamment de la catégorie d'impact, l'allocation de l'impact entre les fonctions « production de biogaz » et « traitement des déchets » a pour effet de réduire de façon significative l'impact des cas avec co-substrats (de 27% à 40% selon les cas). Toutefois, même sans allocation de l'impact, les cas avec co-substrats présentent un impact inférieur au cas sans co-substrats.

Concernant la production d'électricité à partir de biogaz agricole (voir Figure 4), l'impact reste très largement dominé par le combustible (le biogaz), indépendamment de la catégorie d'impacts. La combustion et l'infrastructure jouent là encore un rôle mineur.

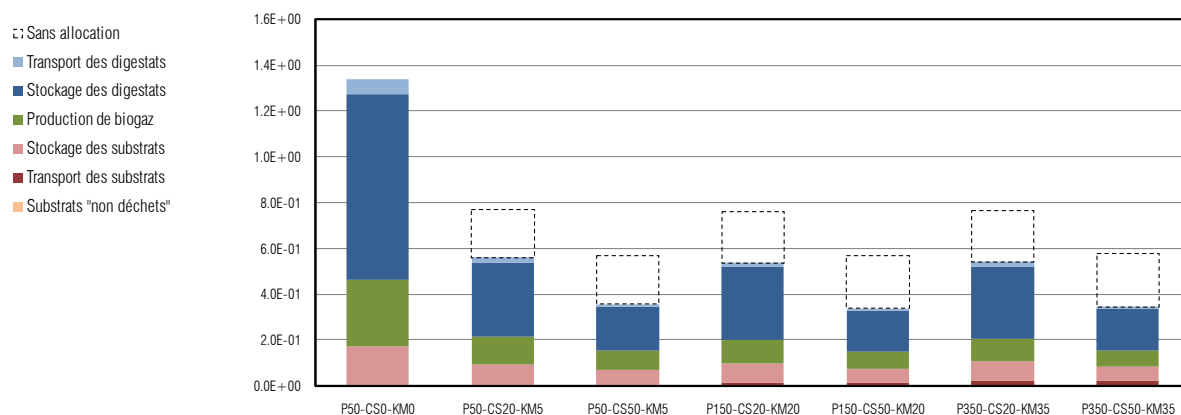
Pour une taille donnée de l'installation, plus la part de co-substrats est grande, plus l'impact est réduit. Pour une part de co-substrats donnée, l'impact est d'autant plus faible que l'installation est grande, en particulier dû au fait de l'amélioration du rendement électrique proportionnellement à la puissance du cogénérateur, de 26,8% pour P50 à 38,0% pour P350.

Si l'électricité produite à partir de biogaz présente une consommation d'énergie primaire non-renouvelable et un impact environnemental global sensiblement inférieurs aux mix électriques suisse et européen, les émissions de GES sont en revanche moins favorables. Tandis que les meilleurs cas (CS50) se situent au niveau du mix électrique suisse (soit 0,15 kg CO₂ eq./kWh), les autres cas présentent un résultat moins bon que ce dernier. On notera ici que, du fait de la structure du parc électrique en Suisse (38% nucléaire, 57% hydro), l'électricité consommée en Suisse présente un bilan des émissions de GES particulièrement avantageux. Dans tous les cas excepté celui sans co-substrat, l'électricité produite à partir de biogaz affiche une réduction des émissions de GES par rapport au mix électrique européen (de 52-77% selon les cas) mais aussi par rapport à la référence « gaz naturel, cycle combiné » (de 34-68% selon les cas).

Consommation d'énergie primaire non-renouvelable (MJ_p/m^3 biogaz)



Emissions de GES ($\text{kg CO}_2 \text{eq}/\text{m}^3$ biogaz)



Impact environnemental global (UBP/m^3 biogaz)

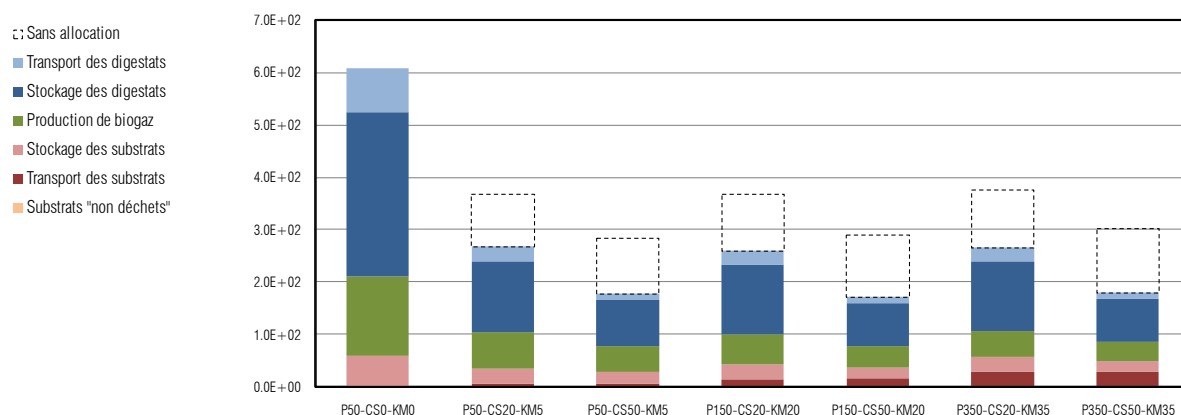
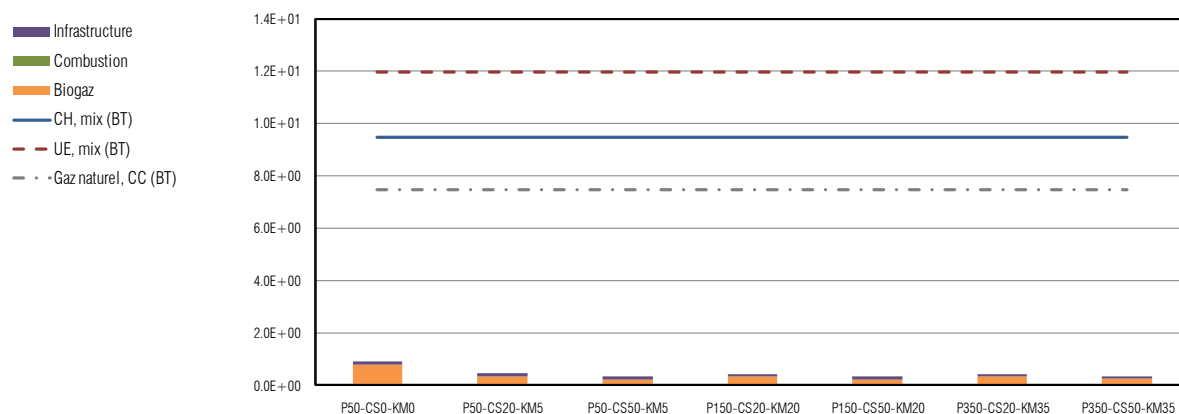
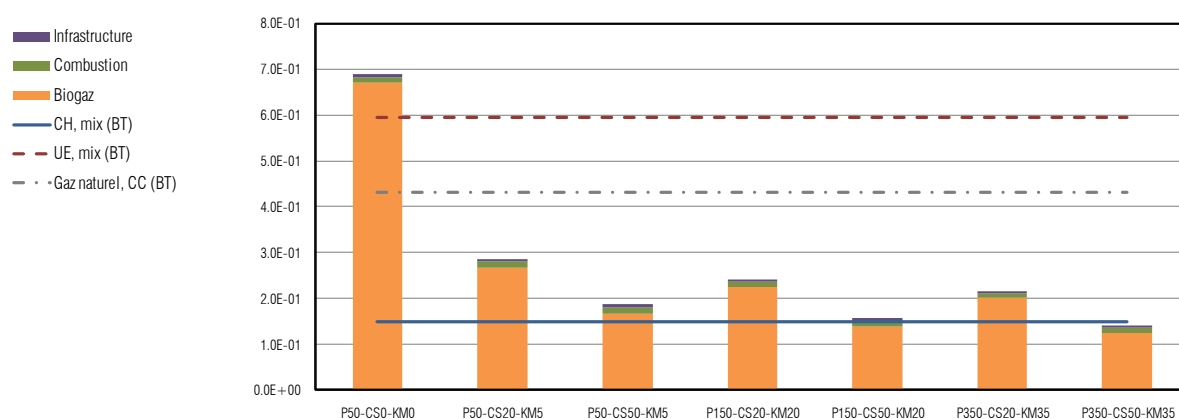


Figure 3 – Résultats de l'ACV de la production de biogaz agricole selon les 7 cas de référence (SANS prise en compte des substrats « non-déchets »)

Consommation d'énergie primaire non-renouvelable (MJ_p/kWh)



Emissions de GES (kg CO₂ eq./kWh)



Impact environnemental global (UBP/kWh)

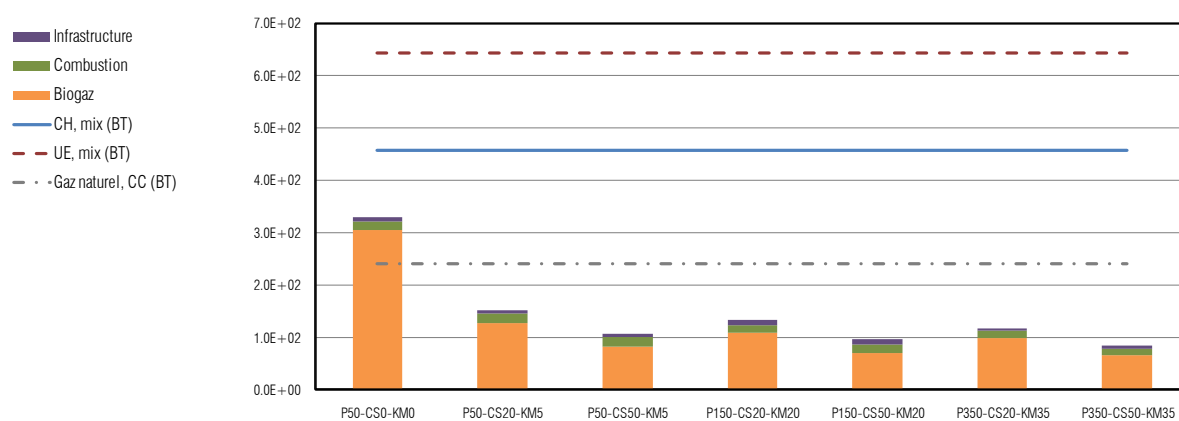


Figure 4 – Résultats de l'ACV de la production d'électricité à partir de biogaz agricole selon les 7 cas de référence (SANS prise en compte des substrats « non-déchets »)

La référence « Gaz naturel, CC (BT) » désigne une électricité basse tension produite à partir de gaz naturel dans une centrale à cycle combiné selon la meilleure technologie actuelle (rendement 57,5%)

4.2 Interprétation des résultats et analyse de sensibilité

L'effet de la part des co-substrats est très significatif du point de vue de l'ensemble des catégories d'impact. L'effet de la taille, lorsque celle-ci n'est pas liée à la distance d'approvisionnement des co-substrats, est en revanche peu significatif voire même négligeable au-delà de 200 kW. Enfin, l'effet de la distance d'approvisionnement des co-substrats n'est vraiment significatif que du point de vue de la consommation d'énergie primaire non-renouvelable. On notera en particulier que l'impact (par unité de biogaz) d'une installation traitant 5% de co-substrats acheminés sur une distance moyenne de 5 km est supérieur à celui d'une installation traitant 50% de co-substrats acheminés sur une distance de 50 km (même largement supérieur du point de vue des émissions de GES et l'impact environnemental global).

La réduction de l'impact parallèlement à l'augmentation de la part de co-substrats s'explique principalement par :

- la fonction « traitement des déchets » de l'installation de biogaz,
- la réduction des émissions liées au stockage des digestats (et, dans une moindre mesure, des substrats) du fait d'une meilleure conversion de la matière organique en biogaz pour les co-substrats, et
- la réduction des volumes de digestats (l'impact lié à leur transport étant ainsi réduit).

Les principaux déterminants de l'impact environnemental (classés par ordre d'importance) sont référencés au Tableau 4, avec une indication des catégories d'impacts où ces paramètres se manifestent le plus.

Tableau 4 – Principaux déterminants de l'impact environnemental lié à la production de biogaz agricole et qualification de l'effet selon la catégorie d'impact

Paramètres et principaux déterminants	Catégories d'impacts		
	Consommation d'énergie primaire non-renouvelable	Emissions de GES	Impact environnemental global
Substrats « non-déchets »	+++	+++	+++
Part des co-substrats	+++	+++	+++
Fonction « traitement des déchets » (allocation)	+++	+++	+++
Caractérisation du mix de co-substrats	+++	+++	+++
Temps où le substrat est stocké chez le producteur de biogaz	Ø	+++	+++
Transport des digestats	+++	+	+/++
Approvisionnement en électricité (auto/externe)	+++	+	+/++
Distance d'approvisionnement des co-substrats	+++	+	+
Rendement(s) de biogaz (par type de substrat)	+	+/++	+/++
Type de stockage des digestats (couvert/ciel ouvert)	Ø	Ø	+++
Taille de l'installation	+	+	+
Valeur économique des co-substrats	+	+	+
Post-fermentation	+	+	+
Rendement électrique de la cogénération	+	+	+
Nombre de jours d'arrêt (émissions directes de biogaz)	Ø	+	+
Type de stockage des substrats (couvert/ciel ouvert)	Ø	Ø	+

+ : peu significatif / ++ : significatif / +++ : très significatif / Ø : pas significatif

Parmi les déterminants les plus significatifs, on notera en particulier :

- les substrats « non-déchets » ;
- la part de co-substrats ;
- la fonction « traitement des déchets » (allocation) ;
- la caractérisation du mix de co-substrats (composition, valeur économique, etc.) ;
- le pourcentage de temps où les substrats sont stockés chez le producteur de biogaz (seulement du point de vue des émissions de GES et de l'impact environnemental global).

On notera enfin l'effet très significatif de la part de chaleur valorisée à la cogénération, mais seulement dans une optique de comparaison entre un système « AVEC production de biogaz » et un système « SANS production de biogaz ».

5. Etudes de cas

Pour compléter la présente étude, trois exploitations agricoles ont été analysées afin d'évaluer l'effet de la présence ou non d'une installation de biogaz. Ces études de cas concernent trois modèles distincts de production de biogaz, à savoir :

- une petite installation de biogaz (15 kW_e) sans co-substrat ;
- une petite installation de biogaz (45 kW_e) avec co-substrats ;
- une grande installation de biogaz (200 kW_e) collective.

Les principales caractéristiques des trois études de cas sont présentées au Tableau 5.

Tableau 5 – Définition des études de cas

Cas de référence		Cas No. 1 : petite IB sans co-substrat	Cas No. 2 : petite IB avec co-substrats	Cas No. 3 : grande IB collective
Puissance du cogénérateur	kW _e	15	45	200
Production de biogaz	m ³ /an	4'122	107'500	451'484
Part des co-substrats	% m/m	0%	83%	25%
Transport des co-substrats	km	0,0	1,9	3,1
Quantités de substrats traitées				
Engrais de ferme	t/an	640	720	11'668
Co-substrats	t/an	0	3'713	3'800
Total	t/an	640	4'433	15'468
Digestats				
Quantités produites	t/an	621	4'315	14'849
Transport	km	0,5	3,8	2,9

La présente analyse a porté dans la mesure du possible sur la comparaison des performances environnementales AVEC et SANS installation de biogaz, à l'échelle de l'exploitation agricole. Les trois exploitations étudiées ont par ailleurs été comparées avec des exploitations de référence similaires. D'autres catégories d'impacts ont ici été prises en

considération (en plus de la consommation d'énergie primaire non-renouvelable et des émissions de GES), notamment l'eutrophisation, l'acidification, l'écotoxicité aquatique, la formation d'ozone et le bilan humique. Ces trois études de cas ont fourni différents éléments sur les conséquences de la production de biogaz sur le bilan écologique des exploitations agricoles.

Parmi tous les impacts environnementaux, c'est la consommation d'énergie primaire non-renouvelable d'une exploitation qui peut être la plus diminuée grâce à l'installation de biogaz, de 17-88% selon les cas. Le bilan des émissions de GES d'une exploitation a également pu être amélioré, de l'ordre de 8-27% selon les cas. Les impacts environnementaux liés aux phénomènes d'eutrophisation et d'acidification ont été plus influencés par la quantité d'engrais épandu et la technique de fertilisation que par les changements de caractéristiques des digestats par rapport aux engrais de ferme. Le potentiel de formation d'ozone n'a pas été influencé par l'intégration d'une installation de biogaz.

Les faiblesses potentielles liées à la production de biogaz agricole concernent principalement l'écotoxicité aquatique et le bilan humique. L'apport de co-substrats et la fermentation des engrais de ferme dans des installations collectives peut augmenter la charge des exploitations en métaux lourds, en fonction de la balance entre les « importations » d'engrais de ferme et/ou co-substrats et les « exportations » de digestats. De même, le bilan humique d'une exploitation peut être influencé de manière négative par la production de biogaz. Premièrement, l'épandage des engrais de ferme est remplacé par l'épandage des digestats qui contribuent moins à la formation d'humus. Par ailleurs, la méthanisation consomme du carbone, en laissant ainsi moins pour la formation d'humus. Néanmoins, il n'existe pas encore d'opinion arrêtée quant aux capacités de reproduction humique du lisier fermenté, du fait notamment que le carbone stable n'est pas transformé en biogaz.

La taille et la gestion de l'installation peuvent toutefois, selon ces trois études de cas, toutefois avoir une importance décisive: une petite installation reposant sur la méthanisation exclusive d'engrais de ferme avec une production réduite semble apporter des améliorations insuffisantes pour le bilan écologique d'une exploitation. De même, la participation à une installation collective, comme dans la troisième étude de cas, n'apporte pas une contribution très prononcée à la réduction des impacts environnementaux dans chaque exploitation. Parmi les trois modèles étudiés ici, le plus efficace semble être celui de la deuxième étude de cas, à savoir une installation de taille réduite utilisant à la fois des engrais de ferme et des co-substrats de type déchets.

L'analyse des trois exploitations étudiées ne permet pas de généraliser les conclusions obtenues quant à l'influence de l'intégration des installations de biogaz sur le bilan écologique des exploitations agricoles. Elle permet néanmoins de mettre le doigt sur les potentiels et les faiblesses de la production de biogaz.

6. Conclusions et recommandations

a. A l'échelle de l'installation de biogaz (y compris la cogénération)

Au regard des résultats qui précèdent, il apparaît que la part des co-substrats joue un rôle essentiel dans l'ACV de la production de biogaz agricole. Du point de vue de la consommation d'énergie primaire non-renouvelable, des émissions de GES et de l'impact environnemental global, plus la part de co-substrats est élevée, plus l'impact est réduit. La distance moyenne d'approvisionnement joue en revanche un rôle peu significatif, hormis du point de vue de la consommation d'énergie primaire non-renouvelable. Il semble ainsi profitable en termes d'impact sur l'environnement d'augmenter au maximum (jusqu'à 50%) la part des co-substrats, quitte à parcourir de grandes distances (jusqu'à 50 km, autorisé selon l'Ordonnance sur l'aménagement du territoire, OAT). Il convient toutefois de noter que les co-substrats « non-déchets » tels que la glycérine (issue de la production de biodiesel)

peuvent pénaliser très fortement le bilan écologique du biogaz au point d'annuler l'effet positif lié aux co-substrats et d'inverser les résultats.

Concernant la taille de l'installation, si l'effet sur l'impact environnemental est relativement sensible aux faibles puissances (entre 50 et 150 kW), celui-ci devient vite négligeable indépendamment de la catégorie d'impact.

Il apparaît donc que la taille optimale d'une installation de biogaz agricole est celle qui permet d'optimiser la part de co-substrats compte tenu de la disponibilité de ces derniers dans un rayon de 50 km autour de l'installation (contrainte liée à l'OAT), à condition d'éviter les substrats « non-déchets » qui risqueraient de pénaliser fortement le bilan écologique.

b. A l'échelle de l'exploitation agricole

L'implantation d'une installation de biogaz au sein d'une exploitation agricole permet de manière générale de diminuer la consommation d'énergie primaire non-renouvelable ainsi que les émissions de GES (par rapport au bilan de la même exploitation agricole sans production de biogaz). Le bilan du point de vue de l'eutrophisation et de l'acidification peut s'avérer positif aussi bien que négatif et dépend fortement la teneur en éléments nutritifs des éventuels co-substrats ou engrais de ferme importés et de ce qu'il advient des digestats (épandage exclusivement sur la propre exploitation ou exportation partielle). Il en va de même pour l'écotoxicité aquatique et le bilan de métaux lourds.

c. A une échelle plus large (au-delà de l'exploitation agricole)

Comme indiqué précédemment, la part de chaleur effectivement valorisée à la cogénération joue un rôle très significatif du point de vue du mérite environnemental de la production de biogaz agricole. Toutefois, cet effet n'est sensible que selon une approche visant à comparer un système « AVEC production de biogaz » et un système « SANS production de biogaz ». Si cet effet se ressent déjà à l'échelle de l'exploitation agricole (dont les besoins de chaleur et parfois d'électricité sont assurés par la cogénération), celui-ci est encore accru lorsque l'on étend les limites du système au-delà de l'exploitation agricole, en tenant compte de la substitution d'agents énergétique fossiles grâce aux excédents de chaleur et d'électricité issus de la cogénération. Cette approche « globale » sort toutefois du cadre de la présente étude et n'est abordée ici que de façon partielle.

Si l'électricité issue de la cogénération est toujours valorisée dans sa totalité, il n'en va pas de même pour la chaleur en excès et la part de chaleur en excès valorisée s'avère ici être un paramètre déterminant de l'impact. Selon l'analyse partielle effectuée, la consommation d'énergie primaire non-renouvelable et l'impact environnemental global sont réduits quelle que soit la part de chaleur en excès valorisée, respectivement de 86-96% et 4-75% selon les cas de référence et la part de chaleur en excès valorisée. Concernant les émissions de GES, la variation d'impact (positive ou négative) dépend fortement de cette part de chaleur valorisée. Si les émissions de GES sont effectivement réduites de manière générale lorsque toute la chaleur en excès est valorisée, il n'en va pas de même lorsque cette chaleur en excès est valorisée à seulement 20%.

Encore une fois, l'analyse effectuée ici est partielle³ et vise seulement à illustrer l'importance de ce paramètre dans l'évaluation environnementale de la production de biogaz selon une approche « globale ». Les résultats sont toutefois à l'image de ceux obtenus à l'échelle des installations de biogaz, avec une variation d'impact d'autant plus favorable que la part de co-substrats est élevée et que la taille de l'installation est grande.

³ L'analyse comparative entre les deux systèmes « AVEC production de biogaz » et « SANS production de biogaz » (baseline) se limite ici en effet à la production d'électricité et de chaleur et ne tient pas compte de la différence au niveau de l'épandage (engrais de ferme bruts ou digestats) ni au niveau de la prise en charge des co-substrats dans la baseline (nécessité de traiter les co-substrats en STEP ou UIOM s'ils ne sont pas destinés à la production de biogaz).

En relation avec la problématique au centre de la présente étude (production centralisée vs. production décentralisée), on notera que les installations de grande taille auront généralement plus de « facilité » et de motivations à mettre en œuvre une meilleure valorisation de la chaleur, les grandes quantités de chaleur produites justifiant plus « facilement » les investissements à consentir pour valoriser cette chaleur.

Les résultats de la présente étude se réfèrent exclusivement à des critères environnementaux. D'autres critères, en particulier économiques, devraient idéalement être pris en considération afin d'avoir une vision plus large de la situation pour une installation donnée. En outre, les critères économiques jouent souvent un rôle majeur dans la configuration et la taille d'une installation de méthanisation. Une dimension économique combinée à la présente étude environnementale permettrait notamment l'évaluation d'indicateurs tels que le coût de la réduction des émissions de GES, exprimées en CHF par tonne de CO₂ eq. (où les données relatives aux coûts tiennent compte à la fois de l'investissement et des coûts d'exploitation).

7. Abréviations et unités

% m/m	pourcentage massique
ACV	analyse de cycle de vie
BT	basse tension
C	carbone (élément)
CC	cycle combiné
CED	Cumulative Energy Demand
CH	Confédération Helvétique (Suisse)
CHF	franc suisse
CO ₂	dioxyde de carbone
GES	gaz à effet de serre
GWh	gigawattheure (10 ⁹ Wh) ; GWh _{th} (thermique), GWh _e (électrique)
IB	installation de biogaz
IP	installation photovoltaïque
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (GIEC en français)
kg	kilogramme
km	kilomètre
kW	kilowatt ; kW _{th} (thermique), kW _e (électrique)
kWh	kilowattheure (10 ³ Wh) ; kWh _{th} (thermique), kWh _e (électrique)
m ³	mètre cube
MJ	mégajoule (10 ⁶ J)
MJ _p	mégajoule d'énergie primaire
MO	matière organique
MS	matière sèche
OAT	Ordonnance sur l'aménagement du territoire
t	tonne
UBP	Umweltbelastungspunkte (unité de charge écologique ou UCE en français)
UE	Union Européenne