

Juin 2019

Guide d'utilisation de la chaleur résiduelle dans les installations de biogaz



Auteurs

Andreas Utiger
Arthur Wellinger
Daniel Trachsel
Deborah Sharfy
Juliana Leon
Léonore Schaller
Silvan Zeyer
Victor Anspach
Yves Membrez

Le présent guide a été rédigé pour le compte de SuisseEnergie.

Les auteurs sont seuls responsables du contenu.

Adresse

EnergieSchweiz, Office fédéral de l'énergie OFEN
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Adresse postale: 3003 Berne
Ligne d'information 0848 444 444. www.energieschweiz.ch/beratung
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch

Table des matières

1.	Récapitulatif	4
2.	Introduction	4
3.	Situation actuelle en matière d'utilisation de la chaleur	6
3.1	Utilisation de la chaleur dans les installations commerciales/industrielles.....	6
3.2	Utilisation de la chaleur dans les installations de biogaz agricoles.....	9
3.3	Intégration dans la politique climatique de la Suisse	11
3.4	Différence entre les installations existantes et les installations projetées.....	13
4.	Technologies appliquées dans la récupération de la chaleur résiduelle	13
4.1	Caractéristiques communes des technologies dans les différentes installations.....	13
4.2	Chaleur.....	23
4.3	Stockage	27
4.4	Utilisation de la chaleur pour le séchage.....	31
4.5	Stockage du biogaz et de la chaleur: possibilités et limites	35
4.6	Production de froid	36
4.7	Production supplémentaire d'électricité	41
5.	Bases juridiques	46
5.1	Bases juridiques relatives à l'utilisation de la chaleur dans les installations de biogaz produisant du biométhane	46
5.2	Bases juridiques concernant l'utilisation de la chaleur dans les installations de biogaz qui ne sont pas concernées par la rétribution de l'injection	47
5.3	Prescriptions légales relatives à l'utilisation de la chaleur dans le cadre du système de rétribution de l'injection (dispositions relatives à l'utilisation de la chaleur).....	47
5.4	Dispositions générales relatives à l'utilisation de la chaleur dans le cadre du système de rétribution de l'injection.....	48
5.5	Bases juridiques pour les installations commerciales et industrielles.....	49
5.6	Bases juridiques pour les installations agricoles	50
6.	Liste de contrôle – Questions et réponses relatives à l'utilisation de la chaleur	51
7.	Perspectives futures	57
8.	Glossaire	58
9.	Bibliographie:	60

1. Récapitulatif

L'utilisation de la chaleur résiduelle dans les installations de biogaz a progressivement augmenté au cours des années. Néanmoins, un potentiel considérable de la chaleur reste encore inutilisé. Souvent, il n'est pas exploité parce que la chaleur n'est pas considérée comme une source de revenu pertinente et ne reçoit donc pas l'attention nécessaire. Il existe de nombreuses façons de récupérer la chaleur qui peuvent être lucratifs pour l'opérateur et qui représentent une valorisation judicieuse.

Afin d'augmenter le rendement économique et énergétique, la chaleur des centrales de cogénération devrait être utilisée le mieux possible. Ensemble avec la production d'électricité, le rendement global devrait être aussi élevé que possible. Ce n'est pas toujours le cas aujourd'hui, en particulier dans les installations de biogaz agricoles, qui sont souvent très éloignées des consommateurs potentiels de chaleur. C'est pourquoi il est important que toutes les mesures d'utilisation de la chaleur soient envisagées et mises en œuvre de la manière la plus cohérente possible. Le présent guide décrit toutes les technologies, leur potentiel ainsi que leurs avantages et inconvénients. Des exemples pratiques l'illustrent de manière claire et lisible. D'une part, il devrait servir de source d'inspiration, et d'autre part, renvoyer directement à des installations de référence qui peuvent servir d'exemples de récupération de la chaleur pour une exploitation spécifique.

Le guide s'adresse aux groupes cibles suivants:

- Les exploitants et les planificateurs d'installations de biogaz existantes qui souhaitent réfléchir à une utilisation rationnelle de la chaleur.
- Les bureaux d'études et les futurs constructeurs impliqués dans la planification et la construction des installations.
- Les investisseurs potentiels qui souhaitent s'informer sur les possibilités d'utilisation de la chaleur résiduelle et sur l'évaluation entre la production du biogaz et le fonctionnement de la cogénération. Cette catégorie comprend les bailleurs de fonds tiers, les entrepreneurs et les autres parties concernées.

Les deux premières catégories sont plus significatives que la troisième en termes de récupération de chaleur résiduelle. Le guide est donc adapté aux exploitants d'installations actuelles et futures et aux bureaux d'études.

2. Introduction

La biomasse est source d'une énergie précieuse. Environ 90% de la bioénergie valorisée provient du bois, qui est largement utilisé pour les besoins thermiques. Les 10% restants sont fournis par le biogaz provenant de l'agriculture, des installations de production, des stations d'épuration et du traitement des eaux usées industrielles. Dans l'électricité, qui est la source d'énergie de qualité, le biogaz représente environ 50%. Ces installations, qui produisent de la chaleur en plus de l'électricité, sont le thème central de ce guide. Le biogaz est obtenu à partir de déchets organiques par fermentation dans une installation de biogaz. Lors de la valorisation du biogaz dans une centrale de cogénération, une attention particulière est portée à l'électricité qui constitue une source d'énergie de très haute

qualité. Afin d'augmenter davantage l'efficacité globale de la technologie du biogaz, il est judicieux d'utiliser la chaleur qui est encore librement disponible. Des concepts de récupération de la chaleur bien planifiés peuvent également contribuer au succès économique d'une installation de biogaz.

En Suisse, le biogaz est produit dans des installations de différents types. De manière générale, les installations de production peuvent être réparties dans les catégories suivantes:

- Installations de méthanisation commerciales et industrielles
- Installations de biogaz agricoles
- Installations pour eaux usées industrielles hautement polluées
- Stations d'épuration des eaux usées

Le présent guide ne traite que de l'utilisation de la chaleur valable pour les trois premières catégories. En règle générale, la récupération de chaleur dans les stations d'épuration ne constitue pas un défi, car le besoin en chaleur nécessaire au traitement des eaux usées est supérieur à la chaleur produite.

Le biogaz peut servir soit à la production d'électricité et de chaleur dans une centrale de cogénération, soit être transformé en biométhane, puis injecté dans le réseau de gaz naturel. En outre, la commercialisation directe du biométhane sur le lieu de production représente un marché de niche. Quel que soit le type de valorisation, il est important d'obtenir le meilleur rendement global possible.

Ces dernières années, le nombre d'installations de biogaz destinées à la production de biométhane a considérablement augmenté en Suisse. La majorité de ces installations alimentent le réseau de gaz naturel avec le biométhane produit; quelques-unes alimentent des stations-service locales non reliées à un réseau. Les installations de production de biométhane ne seront pas abordées dans le présent guide, car elles n'ont pas de chaleur résiduelle à valoriser, mais sont même consommatrices de chaleur.

Les installations de biogaz qui valorisent le gaz par l'intermédiaire d'une centrale de cogénération produisent au moins autant de chaleur que d'énergie électrique. Toutefois, celle-ci n'apparaît que sous forme de chaleur à basse température et elle est relativement insignifiante par rapport aux rejets de chaleur des industries et des fournisseurs d'énergie. Une partie de l'énergie thermique est utilisée pour chauffer le substrat et maintenir la température de fonctionnement. Selon le type d'installation et le mode de fonctionnement, sa part se situe entre 10% et 60%.

Le bonus chaleur a expiré à l'introduction du premier paquet de mesures de la stratégie énergétique 2050. Cela a pour conséquence que la valorisation de la chaleur dans les installations de biogaz est soumise à une pression encore plus forte, les investissements dans ce domaine font l'objet d'un examen plus approfondi et pourraient ne pas être accordés. Il est donc d'autant plus important de présenter aux exploitants des projets innovants et des idées inspirantes.

La biomasse est une ressource renouvelable indispensable. En 2010, l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) a élaboré une «Stratégie pour l'utilisation énergétique de la biomasse en Suisse» afin que le potentiel énergétique existant de la biomasse puisse être utilisé de manière aussi complète, efficace et écologique que possible. L'OFEN a notamment défini les principaux objectifs suivants:

- Remplacement maximal des sources d'énergie non renouvelables (objectif IV)
- Fourniture d'énergie de haute qualité (objectif V)

Ces deux objectifs exigent le plus grand taux de rendement global possible. Ce taux de rendement ne peut être atteint que grâce à une utilisation constante de la chaleur résiduelle.

3. Situation actuelle en matière d'utilisation de la chaleur

L'utilisation de la chaleur dans les installations de biogaz représente généralement un grand défi pour diverses raisons. Sur une installation de biogaz seule, il est difficile d'utiliser la chaleur d'une centrale de cogénération toute l'année de façon uniforme, c'est-à-dire simultanément avec la production d'électricité. L'utilisation externe au moyen de réseaux de chauffage de proximité est généralement coûteuse. Les installations de biogaz sont généralement éloignées des agglomérations, ce qui nécessiterait d'une part une grande longueur de conduite pour le transport de la chaleur et d'autre part aurait pour résultat une faible densité de raccordement des consommateurs de chaleur.

Les expériences d'Énergie-bois Suisse¹ montrent que la densité de raccordement des réseaux de chauffage doit être relativement élevée, par rapport à la production locale de chaleur fossile, pour pouvoir survivre. Dans des conditions favorables, c'est-à-dire pour la construction de conduites à travers prairies et champs, la densité de raccordement dans la première phase doit être d'au moins 0,7 MWh par an et par mètre de ligne et dans la phase finale (de préférence dans les trois à cinq ans maximum) de 1,2 MWh par an et par mètre. Dans des conditions moins favorables, c'est-à-dire pour la construction de conduites dans les routes et à travers les centres de village possédant déjà de nombreuses conduites existantes, les densités rentables correspondantes passent à 1,4 MWh/an et mètre ou à 2 MWh/an et mètre pour les terrains difficiles. Les indicateurs correspondants pour la puissance de raccordement sont de 0,5 kW/mètre-ligne dans les zones rurales et de 1 kW/mètre-ligne dans les zones urbaines.

3.1 Utilisation de la chaleur dans les installations commerciales/industrielles

Les installations commerciales/industrielles (installations C/I) sont souvent situées dans une zone industrielle développée où la possibilité d'utiliser la chaleur sur des propriétés voisines est relativement bonne. Le cas idéal est bien entendu, lorsqu'une installation de biogaz se trouve directement sur un site industriel, valorise ses propres déchets ou eaux usées et peut utiliser la chaleur produite

¹ Association Énergie-bois Suisse www.energie-bois.ch

pour remplacer une part de la chaleur industrielle obtenue par des combustibles fossiles. Les substrats sont généralement des eaux usées industrielles facilement dégradables qui sont préalablement traitées dans une installation de fermentation.

Unité	Utilisation	Eaux usées industrielles	Commerce/industrie
Nombre	Installations au total	23	28
	–Avec récupération de chaleur	21	19
	–Injection de biométhane	2	9
Énergie [GWh/a]	Utilisation de chaleur	40	38
	Électricité	8	83
	Injection de biométhane	14	113

Tableau 1: production d'électricité, de chaleur et de biométhane

La Suisse compte 21 installations de traitement des eaux usées industrielles en service, dans lesquelles la chaleur est utilisée directement sur place (tableau 1). La plupart d'entre elles produisent de la vapeur directement à partir du biogaz à l'aide d'un brûleur et ne produisent pas d'électricité². Toutefois, la récupération de chaleur ne se limite pas à la seule chaleur industrielle. Dans les industries avec des besoins en refroidissement, une machine frigorifique à absorption peut également être exploitée, comme c'est le cas dans la société Frutarom à Wädenswil. Une autre forme de production de vapeur est utilisée par la société Gefu Oberle implantée à Rickenbach (LU). Ce producteur d'aliments pour animaux valorise environ 650'000 litres de lactosérum par an. Celui-ci est d'abord séparé par osmose inverse pour concentrer les nutriments riches en protéines. Il ne reste qu'un liquide clair contenant du lactose, qui peut difficilement être utilisé ailleurs. La valorisation optimale consiste en une fermentation anaérobie. Grâce à la dégradation de la substance organique d'environ 95%, d'une part, de l'énergie est produite, et d'autre part, l'eau est beaucoup moins chargée en matières organiques consommatrices d'oxygène. Le biogaz est converti en électricité dans des microturbines et les gaz d'échappement à haute température qui en résultent sont utilisés pour la production de la vapeur. La vapeur est utilisée pour sécher le perméat.

La situation est plus difficile pour les installations C/I, en particulier pour celles qui sont éloignées, car elles doivent écouler la chaleur à d'autres industries. Dans la plupart des cas, elles ne peuvent écouler qu'une partie de la chaleur. Les statistiques de l'OFEN sur les énergies renouvelables montrent qu'il existe encore un fort potentiel pour environ 30% de la chaleur produite. Actuellement, seulement environ 45% de la chaleur nette, après déduction du chauffage du digesteur, est effectivement utilisée.

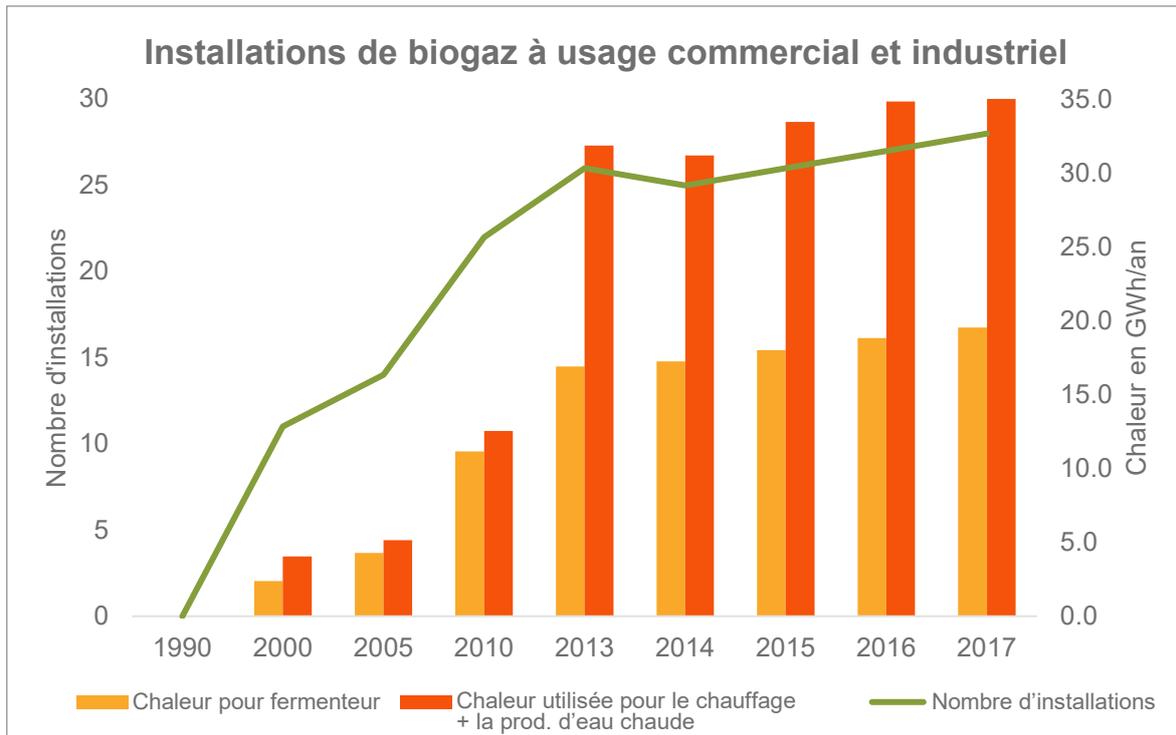


Figure 1: Récupération de chaleur dans les installations de biogaz commerciales et industrielles entre 1990 et 2017

La figure 1 montre que la récupération de chaleur a considérablement augmenté au cours des cinq dernières années. Jusqu'en 2010, ce chiffre n'était guère plus élevé que celui de la chaleur pour le processus interne.

De nombreux exemples montrent que le potentiel thermique peut être encore mieux utilisé. À Chavornay, par exemple, la chaleur est utilisée pour l'élevage de poissons et de tortues dans un complexe voisin. À Wauwil, la chaleur est transférée à une champignonnière voisine, qui à son tour livre une partie des déchets à l'installation de fermentation. À Bachenbülach, un contrat a été conclu avec la commune pour le chauffage d'une partie de ses immeubles.

Dans les zones à forte densité de population, la combinaison biogaz et énergie du bois est particulièrement intéressante. La chaleur résiduelle de la cogénération constitue la charge de base. Dans les installations C/I ayant de plus grands réseaux, la chaleur principale provient généralement des systèmes de chauffage au bois. Dans le cas des petits réseaux dans les exploitations agricoles, la chaleur résiduelle fournit la majeure partie de l'énergie thermique. Dans les deux cas, l'accumulateur de chaleur remplit une fonction centrale, comme c'est décrit en détail au chapitre 4.3. L'accumulateur sert en particulier à équilibrer la chaleur produite par la centrale de cogénération pendant 24 heures afin de couvrir les charges de pointe. C'est surtout le matin qu'il y a de grands pics de demande, à des degrés différents, que ce soit en été ou en hiver. BIEAG à Hünenberg, Agro Schwyz AG et Oberland Energie AG à Spiez représentent de bons exemples d'installations C/I (dont certaines utilisent également du lisier). Ces installations alimentent de grands réseaux de chauffage urbain, ce qui permet d'utiliser une bonne partie de la chaleur résiduelle.

Il est plus difficile de valoriser la chaleur dans les régions éloignées. Un accent particulier y est mis sur l'obtention du meilleur rendement possible en termes d'électricité. À Klingnau, une installation ORC (organic ranking cycle) est exploitée à cet effet avec la chaleur résiduelle. À Ottenbach, la centrale CCF est en cours de modernisation et sera équipée d'une installation ORC. Cette technologie est décrite en détail au chapitre 4.7.

Une autre façon d'utiliser la chaleur est mise en place à Krauchthal. En plus d'un petit réseau de chauffage qui alimente les bureaux et un restaurant situé sur le terrain de l'entreprise, la chaleur résiduelle sert à sécher du bois et à chauffer le compost en phase de maturation.

3.2 Utilisation de la chaleur dans les installations de biogaz agricoles

La quantité de chaleur utilisée provenant des installations de biogaz agricoles est en augmentation constante depuis plusieurs années. Une grande partie de cette chaleur est utilisée dans les processus internes des installations. Notamment pour chauffer les digesteurs, les digesteurs secondaires et les réservoirs de stockage de liquides. Selon les statistiques suisses des énergies renouvelables, la quantité de chaleur utilisée à l'extérieur est passée de 21,38 GWh en 2015 à près de 23 GWh en 2017¹. Ce qui correspond à une augmentation de 7,6%. L'augmentation de la quantité de chaleur utilisée à l'extérieur est faible par rapport à la hausse de 27% pour l'utilisation de la chaleur dans les cuves de fermentation pour la même période. Au total, plus de 125 GWh sont valorisés dans le cadre de l'utilisation de chaleur en interne et en externe.

Malgré l'augmentation absolue de la quantité de chaleur utilisée, le taux de rendement est resté constant ou a même légèrement diminué au cours de ces dernières années.

La quantité totale de chaleur produite ne peut qu'être estimée, car pratiquement aucune installation n'est équipée d'un compteur de chaleur. En 2017, le volume de biogaz produit s'est élevé à 364 GWh bruts. Si l'on considère qu'une centrale de cogénération classique équipée d'un moteur à gaz produit 55% de chaleur utilisable à partir du biogaz, l'énergie thermique utilisable obtenue à partir du biogaz est d'environ 200 GWh. Il y aurait donc beaucoup plus de chaleur qui pourrait être utilisée pour des processus externes.

Pour 2005, la quantité de chaleur inutilisée des installations de biogaz agricoles a été calculée à 9 GWh et on estime que cette quantité serait suffisante pour chauffer 260 maisons individuelles. Depuis 2005, la production de biogaz a presque décuplé et la chaleur inutilisée a été multipliée par 8. Ainsi, plus de 2000 maisons individuelles pourraient être chauffées aujourd'hui avec la quantité inutilisée de chaleur.

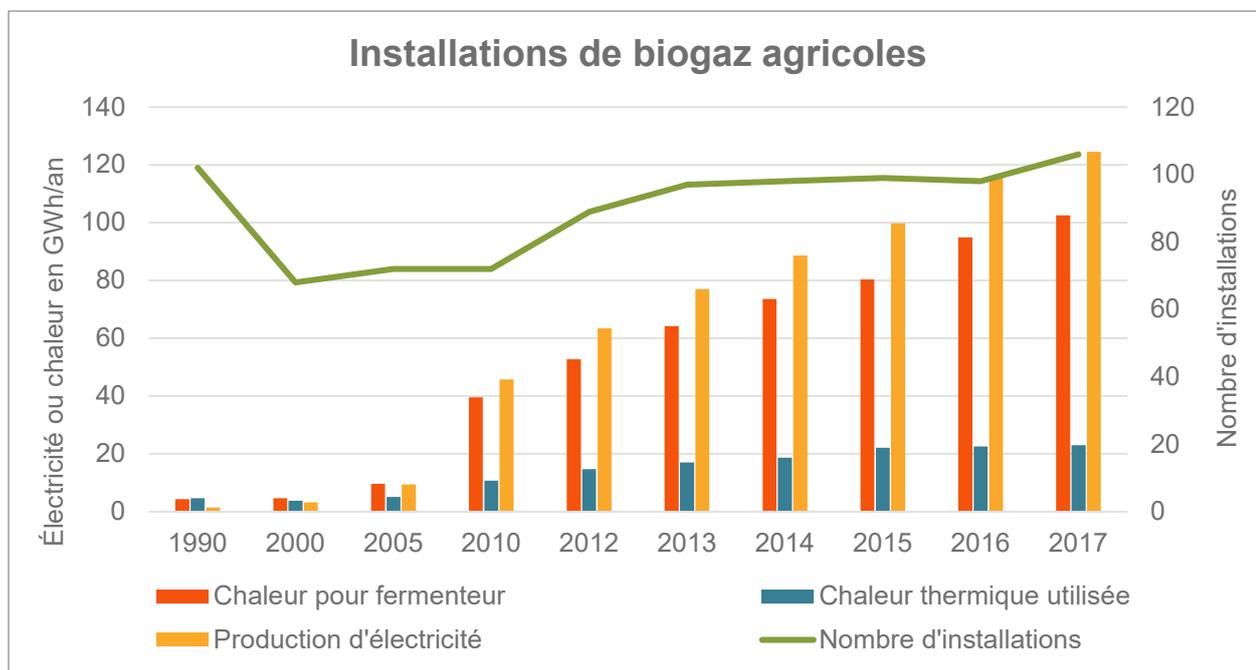


Figure 2: Utilisation de la chaleur des installations de biogaz agricoles

Le projet de benchmarking d'Ökostrom Schweiz offre une vision plus complète. Le projet montre que la quantité totale de chaleur utilisée par 35 centrales était de 19,3 GWh⁴. La quantité de chaleur utilisée à l'extérieur correspondait à 35% de la chaleur brute effectivement produite, sans compter les besoins en chaleur du digesteur et des autres consommateurs de chaleur internes. De la chaleur utilisée à l'extérieur, c'est-à-dire à l'extérieur de l'installation de biogaz, un peu plus de 45% ont été utilisés pour les besoins internes dans les exploitations et un peu moins de 55% ont été vendus. Toutes les exploitations ne vendent pas forcément de la chaleur. La plupart des exploitations utilisent la chaleur résiduelle localement, dans les réseaux de chaleur de proximité, pour le chauffage de bâtiments résidentiels, d'étables ou le séchage de produits agricoles (pour des exemples détaillés, voir chapitre 4). L'injection dans le réseau de chauffage urbain n'était une option que pour trois exploitations en 2016. De 2015 à 2016, l'utilisation de la chaleur dans les installations de benchmarking a augmenté de 14%, tant en interne dans les exploitations qu'en externe pour les ventes. Cette hausse dépasse le taux d'augmentation annuel de l'utilisation de la chaleur dans toute la Suisse et est probablement due à l'attention accrue accordée par les exploitants participant au projet de benchmarking à l'utilisation durable de l'énergie.

La façon d'utiliser la chaleur résiduelle dans les installations de biogaz agricoles varie en fonction de leur situation géographique. Par exemple, une installation de biogaz fournissant une puissance électrique de 100 kW peut chauffer 9 maisons individuelles pendant les mois d'hiver. Une installation de 190 kW_{el} peut fournir de la chaleur et de l'eau chaude à une fromagerie qui transforme 2,2 millions de litres de lait. Une installation de 170 kW_{el} peut alimenter une pépinière dont les serres s'étendent sur une surface de 8400 m². Selon le producteur Biogas Hopöschen Ruswil AG, jusqu'à 90% de la chaleur peut être utilisée à bon escient grâce à une bonne planification de l'utilisation de la chaleur. Alors qu'en hiver, la chaleur est utilisée pour chauffer des bâtiments, en été, elle sert à des fins de séchage. L'utilisation la plus fréquente de la

chaleur locale issue de la production de biogaz est le chauffage des bâtiments d'habitation, suivi par le chauffage d'étables, le séchage du bois et la production d'eau chaude (évaluation des données d'Ökostrom Schweiz). Certaines exploitations ont la possibilité de chauffer une fromagerie, une pépinière ou d'autres entreprises industrielles ou de leur fournir de l'énergie.

La puissance thermique installée de la centrale de cogénération est en moyenne de 277 kW_{th} pour les installations de biogaz agricoles, avec une plage allant de 16 à 844 kW_{th}. Seule une puissance thermique supérieure à 500 kW_{th} est une source de chaleur intéressante pour des grandes entreprises industrielles. Pour les installations de biogaz agricoles s'imposent donc souvent des voies alternatives, non industrielles, d'utilisation de la chaleur.

3.3 Intégration dans la politique climatique de la Suisse

Suite à l'Accord de Paris sur le climat ratifié en octobre 2017, la Suisse s'est engagée à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 50% d'ici 2030 par rapport aux taux de 1990, en appliquant des mesures aux niveaux national et international. En conséquence, la loi actuelle sur le CO₂ fait actuellement l'objet d'une révision totale pour la période allant de 2021 à 2030. La législation suisse en matière de CO₂ couvre des mesures dans les domaines des transports, du bâtiment, de l'industrie et de l'agriculture. L'agriculture doit contribuer à la protection du climat par le biais de la législation agricole. Les objectifs contraignants pour l'agriculture à partir de 2022 doivent être définis dans la PA22+.

En Suisse, plus de la moitié de la consommation finale d'énergie et des émissions de CO₂ sont dues à la production de chaleur pour le chauffage des bâtiments. Bien que la production de chaleur à partir d'énergies renouvelables ait connu une évolution positive ces dernières années, la part des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie dans le domaine de la production de chaleur ne représente qu'environ 20%¹. Près de la moitié de la chaleur renouvelable provient de la valorisation de la biomasse (en particulier de la combustion du bois). L'un des objectifs de la stratégie énergétique 2050 est d'accroître sensiblement la part des nouvelles énergies renouvelables issues de la production de chaleur. Toutefois, des objectifs contraignants pour les différentes technologies ne sont pas fixés dans le cadre de la stratégie énergétique.

Selon les projections d'Ökostrom Schweiz, la contribution de la récupération de chaleur de 105 installations de biogaz agricoles à la réduction des émissions de CO₂ est actuellement d'environ 8500 tonnes d'équivalent CO₂ par an (état 2017). On suppose que seulement la moitié de la chaleur valorisée remplace effectivement les combustibles fossiles, tandis que les 50% restants remplacent d'autres sources d'énergie renouvelables (en particulier le chauffage au bois, qui est répandu dans l'agriculture). Cette hypothèse peut être considérée comme très prudente. Compte tenu de l'expansion des installations de production de biogaz agricole, la réduction annuelle de CO₂ devrait atteindre environ 14'500 tonnes d'équivalent CO₂ par an d'ici 2021.

Possibilités de création de valeur grâce à la compensation de CO₂

Les performances en matière de réduction du CO₂ des projets et les programmes de réduction des émissions sur le territoire national (compensation de CO₂) peuvent être certifiés et utilisés ailleurs

pour compenser les émissions. L'Office fédéral de l'environnement est compétent en ce qui concerne l'instrument de compensation de CO₂. La loi sur le CO₂ réglemente la gestion des projets et des programmes de réduction des émissions sur le territoire national. Les certificats de CO₂ sont négociables. En Suisse, la plupart des certificats issus de projets et programmes nationaux de réduction des émissions sont achetés par la Fondation pour la protection du climat et la compensation de CO₂ (KliK) qui met en œuvre des mesures conformes aux obligations de compensation du CO₂ pour l'industrie pétrolière.

Dans le cadre de son programme pour réseaux de chaleur, la Fondation KliK soutient la construction, l'extension et la transformation de réseaux de chaleur fonctionnant avec la chaleur résiduelle ou des énergies renouvelables. La Fondation KliK récompense à hauteur de CHF 100.– par tonne de CO₂ réduite. Le programme s'étend jusqu'en 2030. Toutefois, pour des raisons méthodologiques, les installations de biogaz ne peuvent pas participer à ce programme. Dans les conditions de participation, il a été stipulé que seule la production de chaleur à partir du bois peut être prise en compte dans le domaine de la biomasse. Il n'existe pas encore de programmes alternatifs de protection du climat, auxquels les installations de biogaz pourraient participer.

Les certificats CO₂ ne peuvent être délivrés que pour des performances de réduction d'émissions qui vont au-delà des prescriptions légales. Jusqu'à présent, le bonus chaleur de la RPC compensait entièrement les performances des installations de biogaz en matière de protection du climat grâce à la valorisation de la chaleur. Pour bénéficier du bonus chaleur de la RPC, il fallait obligatoirement atteindre certains degrés minimaux de valorisation thermique imposés par la loi. Par conséquent, aucun certificat CO₂ n'a pu être établi pour la chaleur en dessous du seuil minimum. Des certificats CO₂ ont été établis uniquement pour l'utilisation de chaleur qui allait au-delà du seuil minimum. Or, leur part était relativement faible, de sorte que les programmes de protection du climat pour les installations de biogaz n'ont jusqu'à présent pas été rentables en termes de valorisation de la chaleur avec un rapport coûts-investissement-bénéfice en dessous du seuil.

Avec l'entrée en vigueur de l'Ordonnance sur l'encouragement de la production d'électricité issue d'énergies renouvelables le 01.01.2018, le bonus chaleur a été supprimé pour toutes les nouvelles installations de biogaz. Cela signifie que l'exigence d'un taux minimum d'utilisation de chaleur ne s'applique plus aux installations de biogaz percevant un bonus agricole, toutefois ce n'est pas le cas pour les installations commerciales et industrielles. Seul le besoin en chaleur de l'installation productrice d'énergie (p. ex. chauffage du digesteur) doit être couvert par l'utilisation de la chaleur résiduelle. Toute la chaleur valorisée à l'extérieur peut être intégrée dans des projets de protection du climat.

3.4 Différence entre les installations existantes et les installations projetées

Dans le cas de nouvelles installations, les responsables de projet devraient intégrer dès le départ la récupération de la chaleur résiduelle dans le concept afin d'éviter des investissements ultérieurs inutiles. Lors de la planification, il faut veiller à ce que la chaleur résiduelle puisse être récupérée à des températures différentes. Cet aspect doit être intégré dans le concept. Les conduites correspondantes n'ont pas besoin d'être placées à l'avance, mais de l'espace doit être prévu à cet effet. Dans le cas des installations existantes dépourvues d'un système satisfaisant de récupération de la chaleur résiduelle, la conversion implique plus d'efforts, mais elle est en règle générale réalisable sans difficultés majeures. Il est important que la planification soit bien réfléchie. Elle devrait prendre en compte d'éventuelles extensions, afin d'éviter des coûts de transformation inutiles.

4. Technologies appliquées dans la récupération de la chaleur résiduelle

4.1 Caractéristiques communes des technologies appliquées dans les différentes catégories d'installations

L'influence du concept d'installation de biogaz

La production d'énergie et donc la production et la valorisation éventuelle de la chaleur à partir d'une installation de biogaz dépendent du concept global de l'installation. Ce concept est défini notamment par les aspects suivants:

La finalité de l'installation: En Suisse, la majorité des projets de biogaz mis en œuvre après l'introduction du système de rétribution de l'injection axé sur les coûts (RPC) ont opté pour la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables pour des raisons économiques. Le traitement écologique des déchets et l'injection du biométhane dans le réseau gazier sont désormais des objectifs tout aussi importants que la restitution des matières organiques au sol par le biais du compost et du digestat. Malheureusement, dans le cas des centrales de cogénération, l'optimisation de l'utilisation de la chaleur au-delà des exigences légales est rarement la priorité.

La taille de l'installation a une influence sur la quantité et la disponibilité de l'énergie thermique. La puissance électrique installée des installations de biogaz suisses est en moyenne de près de 200 kW_{el} pour les installations agricoles et de 500 kW_{el} pour les installations industrielles de traitement des déchets biologiques. Cependant, la marge peut varier de 30 kW_{el} pour les plus petites installations agricoles à plusieurs mégawatts pour les plus grandes installations industrielles.

La technologie de fermentation (fermentation en milieu liquide/solide, en continu/en batch) a une influence sur les besoins en chaleur, car le niveau de température et la géométrie des digesteurs sont différents. Quelle que soit la technologie utilisée, une bonne isolation du digesteur est une condition préalable à une utilisation efficace de la chaleur et à la stabilité du processus.

Le type d'intrants (engrais de ferme et résidus agricoles, déchets verts, déchets de cuisine et de table, déchets industriels, etc.) détermine la quantité de biogaz produit et sa composition et, par conséquent, la production et la disponibilité de chaleur.

Le modèle commercial: Outre les objectifs susmentionnés, le type d'activité de l'entreprise (exploitation agricole individuelle ou collective, usine de traitement des déchets industriels, etc.) et sa localisation influencent les possibilités de récupération de chaleur. Dans les installations de biogaz agricoles, la chaleur est utilisée pour chauffer les habitations, les bâtiments agricoles et les étables (principalement les porcheries et les poulaillers), pour produire de l'eau chaude à usage agricole et pour les serres, ainsi que pour sécher, par exemple, le bois, les céréales ou les aliments pour animaux. Dans les usines de traitement des déchets industriels, la chaleur peut être utilisée pour l'hygiénisation des substrats ou pour le nettoyage des véhicules et conteneurs de collecte des ordures ainsi que pour le chauffage urbain. Une utilisation typique de l'énergie thermique excédentaire dans les installations industrielles est la fourniture de chaleur industrielle, mais celle-ci est limitée en raison du niveau de température, car des températures plus élevées que les 85°C habituellement fournis par la production combinée de chaleur et d'électricité sont souvent nécessaires.

Consommation propre de chaleur

Les besoins en chaleur d'une installation de biogaz sont continus et généralement lissés sur l'année, avec des variations saisonnières, mais aussi avec des pics possibles pour des traitements préalables ou postérieurs spécifiques.

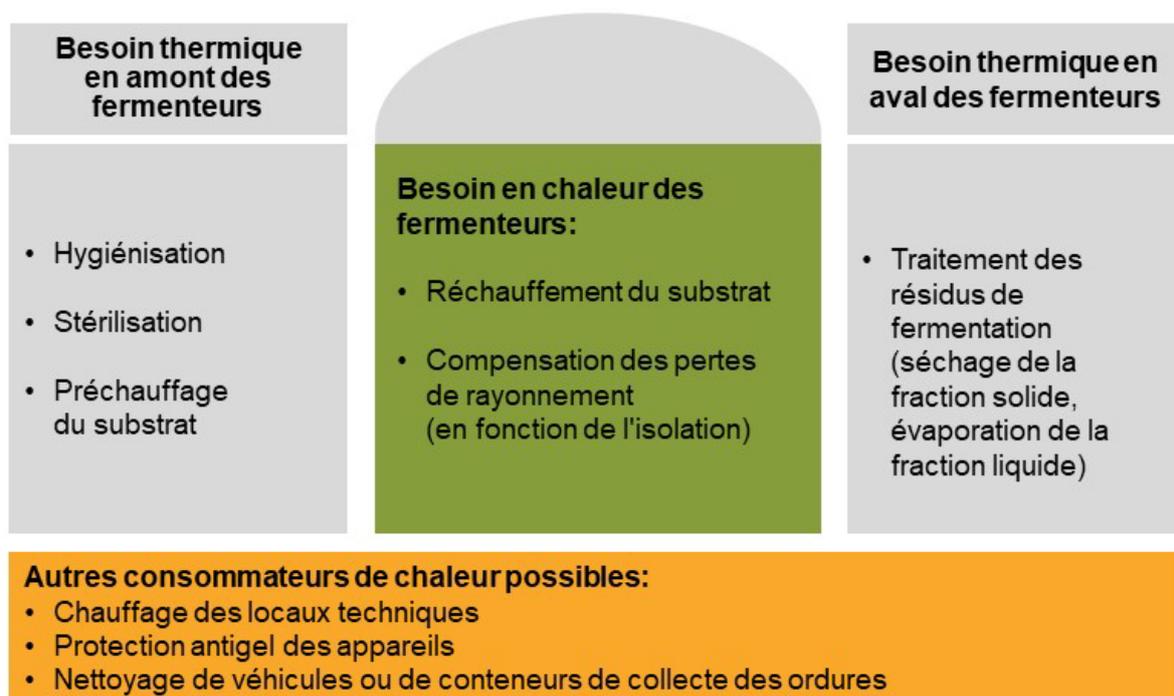


Figure 3: Besoins propres en chaleur des installations de biogaz

Le besoin thermique des digesteurs est prioritaire par rapport à d'autres formes éventuelles d'utilisation de la chaleur. Cette consommation propre résulte des pertes de chaleur de la coque du digesteur et de celles apparues suite à l'introduction de substrats frais. Ces pertes doivent être compensées par un apport de chaleur afin de maintenir la température nécessaire au processus biologique.

Les besoins thermiques dépendent de la température ambiante et de la technologie utilisée, notamment des paramètres suivants:

- Niveau de température mésophile (35–44°C) ou niveau de température thermophile (50–55°C)
- Dimensions du digesteur (y compris le rapport surface/volume)
- Épaisseur et qualité de l'isolation (sol, murs et toiture)
- Matière sèche du mélange à l'extraction

Pour les installations de biogaz dans les conditions climatiques suisses (Mittelland), le tableau suivant indique les ordres de grandeur de la consommation propre de chaleur pour le chauffage du digesteur (et pour d'éventuels digesteurs secondaires chauffés).

Type et puissance de l'installation de biogaz	Description/Paramètres principaux			Consommation propre de chaleur (en % de la chaleur de la centrale de cogénération)
	Capacité annuelle (tonnes de matière fraîche/an)	Type d'intrants	Niveau de température	
Petites installations de biogaz agricoles de 30 à 60kW _{el}	< 5000t/an	Principalement du lisier	Mésophile	40–60%
Installations de biogaz agricoles de taille moyenne de 150 à 200kW _{el}	8000–15'000t/an	80% d'engrais de ferme, 20% de co-substrats	Mésophile	30–40%
Grandes installations de biogaz agricoles de 300 à 500kW _{el}	20'000–30'000t/an	80% d'engrais de ferme, 20% de co-substrats	Mésophile	25–35%
Installations de fermentation industrielles de 400 à 1000kW _{el}	20'000–30'000t/an	Déchets verts et déchets industriels	Thermophile	10–30%

Tableau 2: Consommation thermique propre des différents types d'installations de biogaz en Suisse

Afin de minimiser la consommation propre, le renforcement de l'isolation est une mesure particulièrement efficace. Afin d'augmenter la quantité de chaleur disponible pour un usage externe, des systèmes de récupération de chaleur peuvent également être installés pour le digestat.

Dépendance saisonnière en fonction des besoins et de la disponibilité

L'un des défis de la récupération de chaleur est la saisonnalité. Bien que la production thermique soit généralement continue et répartie sur toute l'année, en fonction de la courbe de production de biogaz, les besoins en chaleur sont nettement inférieurs en été qu'en hiver. En outre, la plupart des consommateurs externes potentiels, comme les bâtiments, n'ont besoin de chaleur qu'en hiver. Il s'ensuit qu'il y a souvent un excédent de chaleur en été.

Le taux d'utilisation de la chaleur dépend de la chaleur disponible et de la demande. On peut le voir en superposant les deux graphiques de la figure 4.

Les besoins en chaleur sont très spécifiques au client. Dans de nombreuses exploitations, les besoins en chaleur pendant les mois d'été sont nettement inférieurs à ceux de l'hiver. Cela signifie que toute l'énergie ne peut être utilisée en été, mais qu'une source de chaleur supplémentaire est nécessaire en hiver. Par ce fait, il est plus difficile d'utiliser la chaleur de manière efficace.

Ces spécificités doivent être considérées comme prioritaires lors de la planification d'un système de récupération de chaleur.

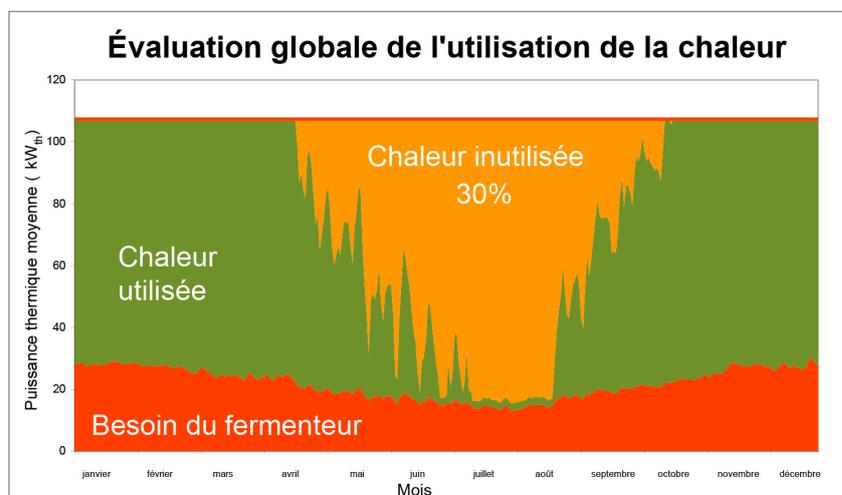
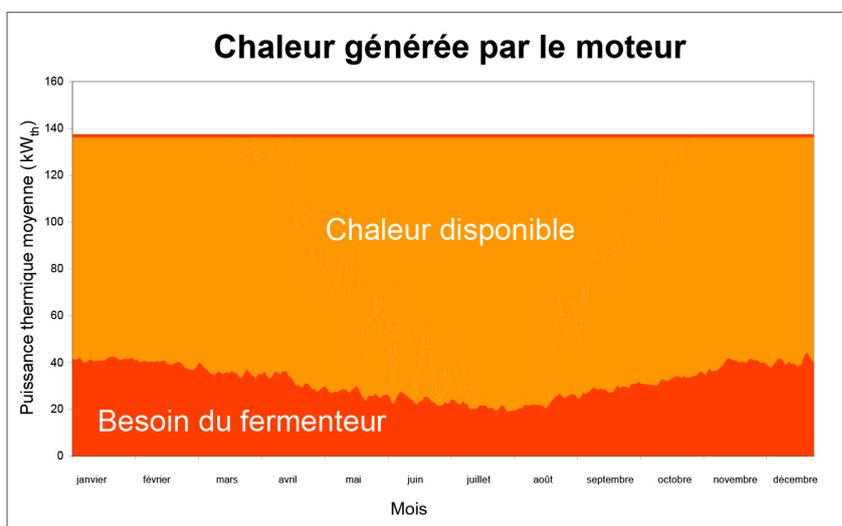
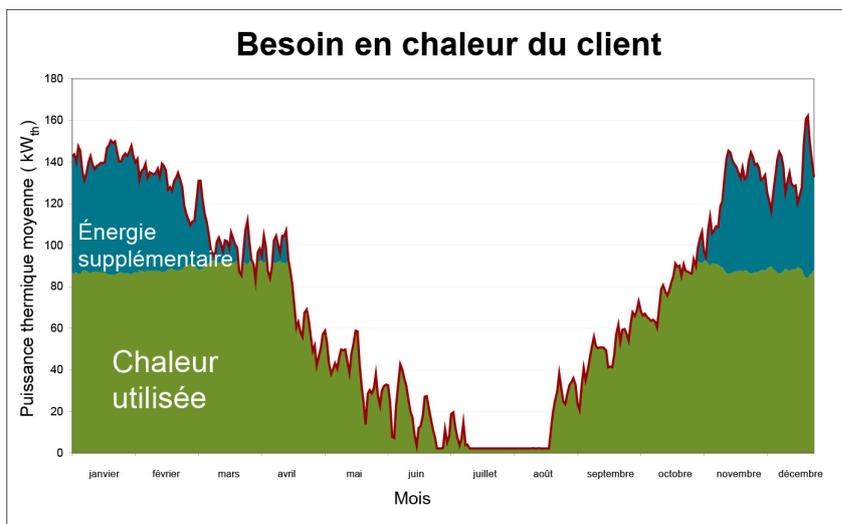


Figure 4: Bilan relatif à l'utilisation de la chaleur d'une installation de biogaz agricole avec valorisation de chaleur dans un bâtiment public

Fonction et propriétés de la cogénération

En Suisse, le biogaz est largement valorisé dans la production combinée de chaleur et d'électricité. Avant d'être brûlé dans une centrale de cogénération, le biogaz est séché et purifié, car la plupart des moteurs à gaz présentent des limites de fonctionnement pour le sulfure d'hydrogène, les hydrocarbures halogénés et les siloxanes.

Les moteurs à combustion ont un rendement électrique compris entre 32% et 42% et un rendement thermique compris entre 40% et 60%. Avant de planifier un système de récupération de chaleur, il faut tenir compte des caractéristiques spécifiques des centrales de cogénération. Les données techniques du fabricant doivent être respectées en ce qui concerne: le circuit hydraulique du système de distribution de chaleur, les températures, les débits volumiques, les pressions et la qualité de l'eau dans les circuits, le système de mesure et de régulation.

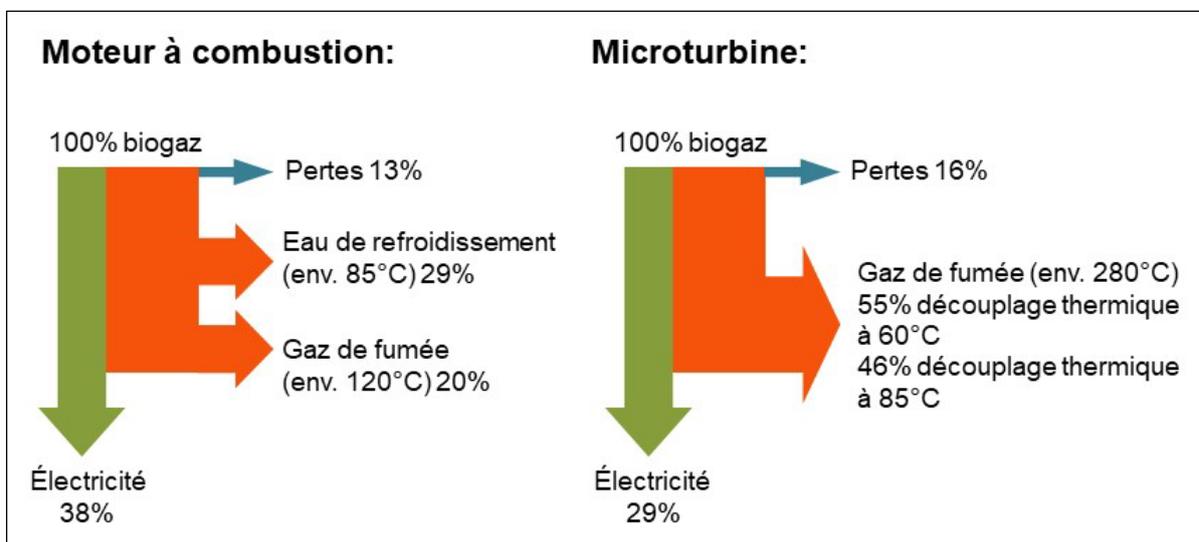


Figure 5: Niveaux de température et taux de récupération de chaleur typiques dans un moteur à combustion alimenté au biogaz et une microturbine à gaz.

La figure 5 représente les sources de chaleur d'une centrale de cogénération pour un moteur à combustion et une microturbine à gaz. Selon le fabricant et le modèle, il existe des différences considérables dans les classes de puissance et les possibilités de valoriser la chaleur.

Moteurs à gaz

Dans un moteur à gaz, la chaleur provient de trois circuits principaux: huile, refroidissement du moteur et gaz d'échappement. Elle est généralement obtenue en un seul endroit sous forme d'eau chaude à 90°C avec une température de départ de 90°C.

Si des températures supérieures à 100°C sont requises, il est possible de découpler la chaleur du flux des effluents gazeux, qui sort entre 400 et 500°C, via un générateur de vapeur. Cependant, cette solution est plus coûteuse car elle nécessite une construction résistante à hautes pressions (>3 bar).

La température des gaz de combustion ne doit pas être abaissée à plus de 150–180°C. En dessous de ces températures, il y a un risque d'émissions de NOx et de SOx. De plus, une température basse endommagerait les échangeurs de chaleur et raccourcirait leur durée de vie en raison de la condensation de produits corrosifs.

Microturbines à gaz

Certaines turbines ne disposent ni de refroidissement à l'huile ni de refroidissement à l'eau; la chaleur est absorbée uniquement par les gaz d'échappement. La température des gaz d'échappement de la turbine est inférieure à celle des moteurs (environ 300°C), car ils sont «dilués» par l'apport d'air élevé dans la chambre de combustion. Cependant, la quantité de chaleur qui peut être récupérée par le biais d'une microturbine à gaz est supérieure à celle obtenue avec des moteurs.

Si l'on souhaite produire de la vapeur, cela est possible à 100% en utilisant toute la chaleur des turbines, alors qu'avec les moteurs cela n'est réalisable qu'en partie. Une partie de l'eau chaude du circuit de refroidissement est dégagée à basse température et ne peut être utilisée pour la production de vapeur.

Selon le consommateur, il peut être préférable de raccorder en série des appareils consommateurs de chaleur nécessitant le niveau de température le plus élevé jusqu'aux appareils ayant le niveau de température le plus bas. Étant donné que les digesteurs sont chauffés à une température relativement basse, souvent autour de 38°C, ils peuvent être chauffés, par exemple, par les flux de retour des réseaux de chauffage (voir exemple Agrogaz Lignerolle).

Si la chaleur n'est pas utilisée, elle doit être dissipée, ce qui nécessite des équipements tels que des réfrigérants de retour qui consomment de l'énergie électrique.

De bons exemples: Agrogaz Lignerolle SA, Lignerolle, Suisse



Figure 6: Installation d'Agrogaz Lignerolle SA, Lignerolle, Suisse

Exemple pratique: Installation de biogaz Agrogaz Lignerolle

Caractéristiques de l'installation

Lieu: Lignerolle (VD)

Année de construction de l'installation de biogaz: 2014

Taille: 1 moteur de cogénération, 330 kW_{el} et 395 kW_{th}

Temps de rétention hydraulique: 100 jours

Température du processus: 42°C

Substrats de fermentation/matières premières: Environ 13'000 tonnes d'engrais de ferme.
Environ 3000 tonnes de co-substrats

Production brute d'électricité: 2'500'000 kWh

Contact

Agrogaz Lignerolle SA
Grand Vailloud 10
1357 Lignerolle
Tél: 079 606 37 49
Courriel: contact@agrogaz.ch

Agrogaz Lignerolle est une installation de biogaz agricole qui fait fermenter le lisier et le fumier d'environ 1100 unités de gros bétail (UGB). L'entreprise travaille sur une zone qui comprend les communes de Ballaigues, Lignerolle, Sergey et Valeyres-sous-Rances avec un volume de 13'000 t/an. Par ailleurs, des co-substrats de l'industrie alimentaire (3000 t/an) sont valorisés. Agrogaz est le fruit

du partenariat entre Romande Énergie (40%) et les agriculteurs Frédéric et Fabien Petermann (60%). L'installation a été construite en 2014 et a requis un investissement de CHF 5'500'000.–.

Le biogaz produit de l'électricité et de la chaleur (cogénération). Cette chaleur est utilisée en cascade selon le principe suivant:

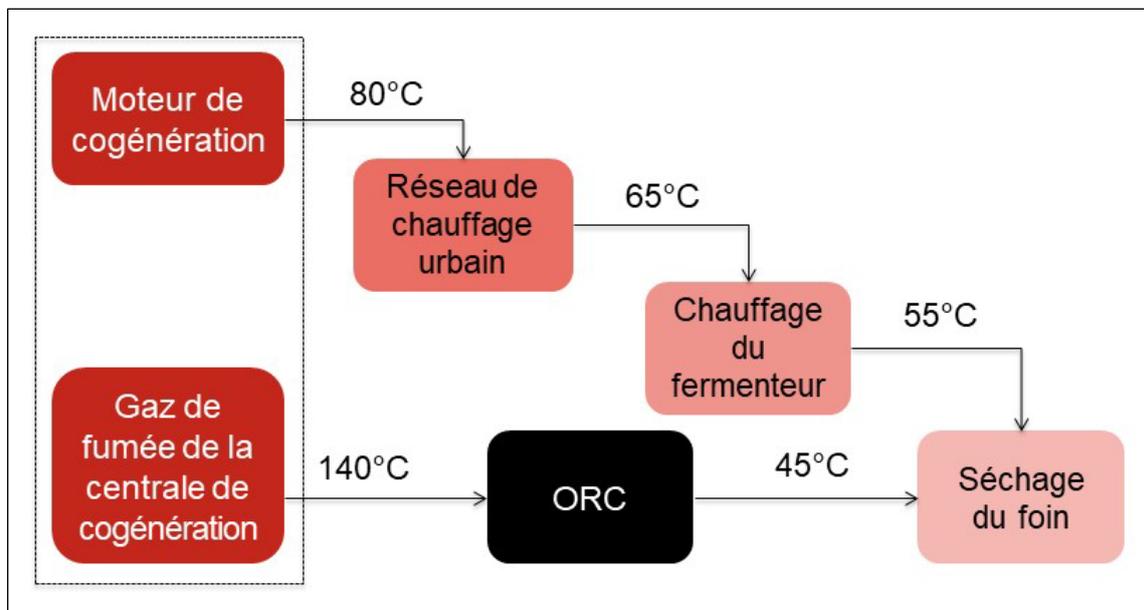


Figure 7: Raccordement en cascade des consommateurs

La production d'électricité sur place est estimée à environ 2,5 GWh/an. La puissance électrique de la centrale de cogénération s'élève à 330 kW (rendement électrique 40%). La puissance thermique de la centrale de cogénération est de 395 kW.

Afin de valoriser la chaleur résiduelle générée par le moteur, une turbine ORC d'une puissance électrique de 20 kW_{el} a été installée (investissement: environ CHF 250'000.–), qui consomme 200 kW_{th} issus du refroidissement des gaz d'échappement du moteur. La chaleur fournie à l'ORC présente une température de 140°C et une pression de 8 bar.

L'ORC augmente la production d'électricité du moteur à gaz d'environ 6%.

La chaleur produite sur le site est utilisée par la turbine ORC, un séchoir à foin et un système de chauffage urbain qui alimente les bâtiments d'habitation de M. Petermann et les hameaux voisins. À ces consommateurs de chaleur s'ajoutent aussi un séchoir à copeaux et un séchoir à bois. Environ 75% de la chaleur totale produite dans l'installation de biogaz est utilisée chaque année.

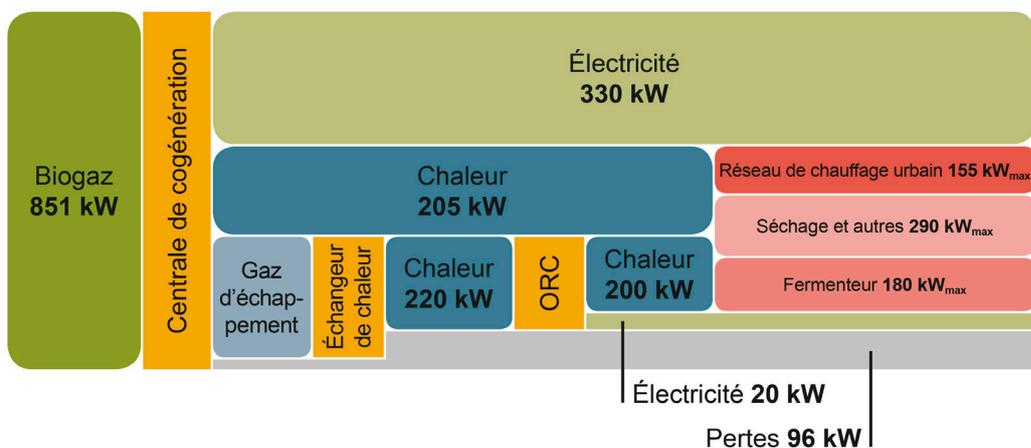


Figure 8: Schéma-bloc – Valorisation de l'énergie dans la centrale de cogénération et l'ORC

Consommateurs de chaleur	<ul style="list-style-type: none"> • Digesteur • ORC à turbine • Séchoir à foin • Séchoir à copeaux et séchoir à bois • Réseau de chauffage urbain
Temps de construction de l'installation d'utilisation de la chaleur	5 mois; étapes importantes: travaux d'excavation pour la conduite de chauffage à distance, construction d'une extension pour le séchoir à foin, installation de l'ORC.
Difficultés rencontrées	<ul style="list-style-type: none"> • Frais supplémentaires dus à l'arrivée de l'installateur/ du système de chauffage • Intégration du réseau de chauffage urbain dans les bâtiments d'habitation et les immeubles commerciaux existants • Problèmes de communication entre les interlocuteurs • La mise en place du circuit hydraulique qui alimente l'ORC a nécessité du temps et de nombreuses interventions. L'ORC est très sensible aux fluctuations de la puissance thermique et de la température • Faillite du fournisseur de l'ORC

Facteurs de réussite	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation d'une chaudière à bois existante comme source de chaleur redondante • Mise à disposition d'un réservoir tampon d'un volume suffisant • Mise à disposition de vannes en nombre suffisant et automatisation des réglages de chauffage en vue d'optimiser la flexibilité et la gestion de la demande saisonnière
-----------------------------	---

Conseils et astuces	<ul style="list-style-type: none"> • Par le choix d'un technicien sanitaire/chauffagiste régional, les coûts de maintenance sont considérablement réduits: peu d'expérience dans la réalisation du travail, mais gain de temps et d'argent. • Prévoir un système extensible avec des réserves pour le système de chauffage urbain. «Nous avons prévu une réserve. Celle-ci a été utilisée au bout de trois mois seulement pour une installation de lavage». • Les modifications à apporter au système en cours d'exploitation coûtent de plus en plus cher. Une bonne planification permet de limiter les coûts d'investissement dans une installation en cours d'exploitation.
----------------------------	--

Tableau 3: Expériences de l'exploitant de l'installation Agrogaz Lignerolle

4.2 Chaleur

L'utilisation de la chaleur dans les réseaux de chauffage locaux ou urbains pour chauffer des bâtiments et des habitations présente de nombreux avantages, notamment le remplacement des combustibles fossiles et la création d'une valeur ajoutée régionale. Les inconvénients sont les variations saisonnières dans les besoins en chaleur des bâtiments, la faible capacité de stockage dans le réseau et les pertes de chaleur qui se produisent pendant le transport dans les réseaux. Les pics de chaleur qui peuvent survenir en hiver sont souvent palliés par des systèmes de chauffage à copeaux de bois. La charge de base peut être couverte par la chaleur résiduelle issue de la production d'électricité par cogénération, mais pas une charge de pointe. L'avantage des installations de biogaz est la mise à disposition continue de chaleur résiduelle tout au long de l'année. Celle-ci est temporairement stockée dans des réservoirs d'eau chaude si nécessaire. Selon les dimensions du réservoir, la durée de stockage possible est plus ou moins longue. Les réservoirs de stockage à court terme sont souvent utilisés dans les installations de biogaz agricoles, mais pas les réservoirs de stockage saisonniers.

La longueur du réseau de chauffage est déterminante en ce qui concerne les pertes de chaleur. En termes d'efficacité économique, les conduites de chauffage à distance sont plus coûteuses que les conduites de biogaz. Il est donc recommandé en Allemagne de placer les conduites de chauffage à distance – qui sont plus chères – uniquement à proximité des consommateurs de chaleur et, si l'installation de biogaz est éloignée des consommateurs de chaleur, de raccorder en plus une centrale de chauffage, c'est-à-dire d'utiliser des conduites de biogaz au lieu de conduites de chauffage à distance jusqu'à la centrale de chauffage. En construisant des centrales de chauffage, il est possible de réduire la longueur des réseaux de chauffage et donc les pertes de chaleur. Cette solution n'a pas encore été mise en œuvre en Suisse en raison d'exigences techniques et administratives très strictes qui ne peuvent être satisfaites par une seule installation de biogaz agricole.

Le facteur le plus important pour la rentabilité est la densité de raccordement qui doit être la plus élevée possible; en outre, la chaleur vendue devrait s'élever à plus de 2 MWh par an et par mètre de longueur de ligne. Une densité de raccordement élevée réduit en plus considérablement les pertes de chaleur. Les coûts de construction d'un réseau de distribution sont moins élevés en milieu rural qu'en milieu urbain. Des recettes réalisées ou des conditions de construction favorables peu-

vent également compenser une faible densité de raccordement et avoir un impact économique positif. En fixant le prix de la chaleur pour le chauffage local ou urbain, il est recommandé de garder une certaine flexibilité en ce qui concerne l'ajustement des prix, car la stabilité des prix n'est pas non plus garantie à long terme dans le secteur du biogaz.

Deux exemples pratiques seront donnés ci-dessous, qui poursuivent une meilleure valorisation possible de la chaleur à des fins de chauffage, tout en s'adaptant aux conditions du site.

Exemple pratique: Chauffage au bois avec réseau de chaleur à distance Unterbuck

Caractéristiques de l'installation

Lieu: Thayngen (SH)

Année de construction de l'installation de biogaz: 2014

Taille: 1 moteur de cogénération, 265 kW_{el} et 345 kW_{th}

Composants de l'installation: Digesteur et digesteur secondaire 3500 m³, dépôt 2300 m³

Temps de rétention hydraulique: 100 jours

Température du processus: 42°C

Substrats de fermentation/matières premières: environ 14'500 tonnes d'engrais de ferme (fumier de bovins, lisier de bovins, fumier de poules). Environ 3400 tonnes de co-substrats

Production brute d'électricité: 2'112'000 kWh (2017)

Production brute de chaleur: 3'764'000 kWh, centrale de chauffage (31%) et installation de biogaz (69%).

Utilisation de la chaleur en été/hiver: L'installation de biogaz fournit, calculé sur l'année, 55% de la chaleur nécessaire dans le réseau de chaleur. En été, seule la chaleur résiduelle de l'installation de biogaz est utilisée et le chauffage au bois est mis à l'arrêt. En été, les besoins en chaleur du réseau de chauffage urbain sont d'environ 60% de la chaleur produite et, en plus, la chaleur sert à sécher les céréales. En hiver, la chaleur produite par le système de chauffage au bois et l'installation de biogaz est utilisée à 100% pour le réseau de chauffage urbain et les besoins propres de l'exploitation.

Accumulateur de chaleur: Réservoir d'eau chaude de 85'000 litres.

Centrale de chauffage: Système de chauffage à copeaux de bois de 550 kW_{th}, 900 à 1400 m³ de copeaux de bois nécessaires.

Vente de chaleur: 2'337'000 kWh (2017)

Densité de raccordement: 0,93 MWh a⁻¹ m⁻¹.

Taille du réseau de chauffage: 250 ménages dans la commune de Thayngen (maisons individuelles et immeubles), 4 entreprises commerciales et une école

Longueur du réseau de chauffage: plus de 2500 m

Utilisation de la chaleur dans l'exploitation: Entrepôt de pommes de terre (protection antigel), atelier, eau chaude et maison d'habitation, séchage de céréales.

Contact

Müller Energie GmbH

Monsieur Christian Müller und Frau Andrea Müller

Reiatstrasse 51

8240 Thayngen

Courriel: unterbuck@bluewin.ch



Figure 9: Vue sur l'installation de biogaz avec les cuves de fermentation souterraines



Figure 10: Vue aérienne de l'entreprise agricole «Unterbuck» à Thayngen (SH) avec système de chauffage à copeaux de bois (1), installation photovoltaïque (2) et installation de biogaz avec cogénération (3).

Exemple pratique: Approvisionnement en chaleur d'une fromagerie située sur le terrain de l'installation de biogaz AgroGaz Haute-Sarine SA**Caractéristiques de l'installation**

Lieu: Ferpicloz (FR)

Année de construction de l'installation de biogaz: 2012

Taille: 1 centrale de cogénération de 280 kW_{el} et 320 kW_{th}

Composants de l'installation: digesteur et digesteur secondaire 3600 m³, entrepôt de stockage des résidus de fermentation 3800 m³

Temps de rétention hydraulique: 65 jours

Température du processus: 40°C

Substrats de fermentation/matières premières: Environ 23'000 tonnes d'engrais de ferme (lisier de bovins et de porcs, lisier de bovins, lisier de volailles, lisier de chevaux). Environ 2000 tonnes de co-substrats

Production brute d'électricité: 2'277'000 kWh (2017)

Production brute de chaleur: environ 2'500'000 kWh.

Utilisation de la chaleur résiduelle : 20 à 25% de la chaleur résiduelle produite sont vendus à la fromagerie Le Mouret. Cette dernière peut l'utiliser pour chauffer le bâtiment et préchauffer les chaudières à lait à 80°C pour une production totale de 450 tonnes de fromage par an. La fromagerie économise ainsi plus de 70'000 litres de combustible fossile et couvre plus de 50% de ses besoins en chaleur grâce à la chaleur provenant de l'installation de biogaz. Les chaudières à fromage sont chauffées de 80°C à 100°C avec de l'huile de chauffage. En plus de la fromagerie, plusieurs autres bâtiments résidentiels sont chauffés, ce qui représente une valorisation supplémentaire de 15 à 20% de la production de chaleur.

Utilisation de la chaleur excédentaire : La chaleur excédentaire sert pour sécher environ 4000 m³ de copeaux de bois par an pour la société BestPellet (<http://bestpellet.ch>). Environ trois fois plus de pellets sont séchés en été qu'en hiver.

Accumulateur de chaleur : Réservoir d'eau chaude de 40'000 litres

Réseau de chauffage urbain: Le réseau de chauffage urbain de l'installation de biogaz jusqu'à la fromagerie et aux autres bâtiments s'étend sur 1 km.

Densité de raccordement: environ 1 MWh a⁻¹ m⁻¹.

Contact

Monsieur Alexandre Peiry

Impasse de la Tuilerie

1724 Ferpicloz

Courriel: alexandre.peiry@bluewin.ch



Figure 11: Installation Agrogaz, Haute-Saraine

4.3 Stockage

Les fluctuations en matière de besoins en chaleur des systèmes de chauffage des bâtiments ou d'autres processus tributaires de la chaleur se produisent au cours de la journée et au cours de l'année. La production continue de la centrale de cogénération, mais aussi les éventuelles interruptions rendent l'accumulateur de chaleur utile pour pallier aux arrêts de production et même nécessaire pour compenser les pics de charge.

Le stockage de la chaleur dans des **réservoirs d'eau chaude** est un moyen connu, relativement peu coûteux, rapide et non toxique de stocker et d'amortir les besoins en chaleur qui sont décalés dans le temps par rapport à la production. Les réservoirs d'eau chaude sensibles sont des réservoirs de courte durée; ils sont utilisés principalement pour des périodes allant de quelques heures à quelques jours. Plus le réservoir est grand, plus sa capacité de stockage est grande. La société cupasol GmbH² affirme même que les grands réservoirs de plus de 1000 m³ peuvent garder la chaleur pendant des semaines, voire des mois. Les principaux inconvénients des réservoirs d'eau chaude

² <https://cupasol.de/grosswaermespeicher/grosswaermespeicher/>

sont la capacité de stockage relativement faible d'environ 60 kWh/m³ et un encombrement relativement important. Dans le but d'une utilisation économique d'un réservoir d'eau chaude, celui-ci doit être construit hors sol. Selon les experts, les réservoirs de stockage d'eau chaude constitueront la technologie de stockage prédominante jusqu'en 2030, car les autres procédés de stockage présentent encore trop de problèmes techniques. Le nouveau projet de stockage de chaleur d'Agro Energie Schwyz s'inscrit dans cette perspective:

Exemple pratique: Grand réservoir de stockage d'eau chaude sur le site de l'installation de biogaz Agro Energie Schwyz

Caractéristiques de l'installation

Lieu: Schwyz (SZ)

Année de construction de l'installation de biogaz: 2009

Composants de l'installation: 2 digesteurs de 1885 m³, digesteur secondaire de 3436 m³

Taille: 1 centrale de cogénération de 526 kW_{el} et 558 kW_{th}

Temps de rétention hydraulique: 35 jours

Température du processus: 40°C

Substrats de fermentation/matières premières: environ 30'000 tonnes de lisier

Production brute d'électricité: environ 3'000'000 kWh

Production brute de chaleur: 3'000'000 kWh

Utilisation de la chaleur résiduelle: L'installation de biogaz est complétée par un système de combustion à copeaux de bois et une installation ORC.

Accumulateur de chaleur: Prévus pour 2019 – Construction d'une tour de stockage d'eau chaude de 28'000'000 litres, 50 m de haut et 30 m de diamètre. Les chiffres d'utilisation ne sont pas encore disponibles en raison de son état en cours de planification.

Réseau de chauffage urbain: > 1090 raccordements de maisons, 8000 ménages et > 80 km de longueur

Densité de raccordement: environ 1 MWh a⁻¹ m⁻¹

Contact

Monsieur Urs Rhyner

Milchstrasse 14

6431 Schwyz

Courriel: urs.rhyner@agroenergie.ch



Figure 12: Photos de l'installation de biogaz Agro Energie Schwyz, vue extérieure du digesteur (à gauche) et centrale de chauffage (à droite).

Les **accumulateurs de chaleur latente** ont une capacité de stockage beaucoup plus élevée que les réservoirs de stockage d'eau chaude, à savoir d'environ 120 kWh/m^3 ^{6,7}. Dans ce cas de figure, la chaleur n'est pas stockée au moyen de l'eau, mais dans des matériaux dits à changement de phase, généralement des hydrates de sel, pour lesquels un changement de température de quelques degrés seulement suffit pour passer de l'état solide à l'état liquide. En modifiant l'état des solutions salines, la chaleur est accumulée de façon chimique et «stockée» pendant une durée quelconque. La concentration élevée d'énergie dans les solutions permet d'obtenir des unités de stockage compactes qui sont peu encombrantes et peuvent être facilement transportées vers un autre site, car elles sont indépendantes du réseau. Toutefois, ces unités ne se sont pas imposées sur le marché et même la plus connue des entreprises qui proposait le transport mobile de chaleur en Allemagne est aujourd'hui insolvable: La société LaTherm a été l'une des rares entreprises à proposer le stockage et le transport mobiles de la chaleur au moyen de conteneurs contenant de l'acétate de sodium. Par exemple, un conteneur LaTherm pouvait stocker 2,5 MWh de chaleur, ce qui équivaut à 250 litres d'huile de chauffage en termes d'énergie. Les coûts élevés pour le stockage et de transport de la chaleur présentent un inconvénient, et pour les petites installations de biogaz ($< 150 \text{ kW}_{el}$), les accumulateurs de chaleur latente ne sont rentables ^{6,8}. De plus, certaines exigences relatives à l'utilisation sont également délicates: Dans le cas du caloporteur acétate de sodium, par exemple, on déplore la basse température utile de 50°C maximum, qui est due au point de fusion bas de l'acétate de sodium ^{2,18}. Les accumulateurs de chaleur latente ne devraient donc être envisagés que s'il n'existe aucune autre possibilité d'utilisation directe de la chaleur².

Les **accumulateurs thermochimiques** ont une capacité de stockage encore plus grande, d'environ 200 à 500 kWh/m^3 , que les accumulateurs de chaleur latente⁷. Le stockage de la chaleur s'effectue

au moyen du séchage ou de la concentration de solutions salines, de la zéolithe ou du gel de silice⁹. Ces substances rendent possible l'utilisation de températures de chaleur résiduelle plus élevées, par ex. 225 à 250°C pour les zéolithes, ce qui donne également des températures utiles plus élevées (max. 200°C pour les zéolithes). Les zéolithes permettent de régler la température utile en fonction des besoins⁹. Toutefois, la mise en pratique des accumulateurs thermochimiques est encore moins avancée que celle des accumulateurs de chaleur latente mentionnés ci-dessus. Une première installation de démonstration pour le stockage thermochimique et l'utilisation sera testée par l'Institut ZHAW de systèmes énergétiques et d'ingénierie des fluides à partir de 2018:

Dans le cadre d'un projet de l'UE Horizon 2020 portant le nom de «HDisnet», l'Institut ZHAW teste une technologie d'absorption ouverte, c'est-à-dire que le stockage de chaleur par désorption a lieu dans une installation de biogaz agricole (Sunnehofenergie GmbH Marthalen ZH) et la diffusion de chaleur par absorption a lieu à un autre moment et à un autre endroit dans une serre (Meyer Pflanzenkulturen AG, Wangen-Brüttsellen ZH). La chaleur au lieu de son origine est utilisée pour concentrer une solution saline par déshydratation et générer ainsi un potentiel chimique qui peut être converti en chaleur utile au lieu d'utilisation par réhumidification. Grâce à cette technologie, il serait possible de combler de plus grandes distances entre les sources de chaleur et les lieux de diffusion thermique, car la densité énergétique est relativement élevée grâce à cette technologie et le transport est moins coûteux que pour les accumulateurs de chaleur latente. Les premiers résultats du projet et l'évaluation de sa mise en pratique ne seront disponibles que dans quelques années.



Figure 13: Installation expérimentale de l'Institut ZHAW (2017), colonne d'absorption en bleu.

4.4 Utilisation de la chaleur pour le séchage

La chaleur résiduelle des installations de biogaz peut être utilisée surtout pendant les mois d'été pour le séchage à l'air des marchandises produites à l'exploitation, car la chaleur est disponible jour et nuit. Un séchoir constitue un abri sûr également par mauvais temps. Le plus souvent les installations de biogaz agricoles servent pour sécher le foin, le bois et des céréales. En vue d'utiliser la chaleur pour le séchage, il convient de calculer au préalable les coûts d'investissement pour les conduites de chauffage à distance, les turbines, les échangeurs de chaleur et éventuellement les conteneurs, et notamment prendre en compte les frais d'entretien, c'est-à-dire les coûts d'électricité des turbines, le nettoyage des filtres et des pannes des échangeurs de chaleur (par exemple, le risque de gel)¹⁰. Par conséquent, le séchage de marchandises externes n'appartenant pas à l'exploitation n'a de sens qu'en cas de courtes distances de transport et de faibles coûts de manutention.

Aujourd'hui, il est assez simple de raccorder à une centrale de cogénération un conteneur de séchage, dans lequel la chaleur résiduelle sera directement acheminée. Des produits humides peuvent également être séchés par lots, dans des conteneurs ou des chariots par le biais de l'injection d'air chaud par des tuyaux de ventilation ou des sols perforés, si, par exemple, un ventilateur haute pression est raccordé. Plus il y a d'eau à extraire des marchandises à sécher, une quantité moindre de cette matière peut être séchée en une seule fois. Les coûts d'investissement d'un conteneur de séchage se situent dans une fourchette abordable pour les installations de biogaz agricoles, et le prix dépend bien entendu de la puissance de l'installation de séchage¹⁰. Les séchoirs permettant de sécher par lots sont une bonne option surtout pour le bois destiné à des fins énergétiques. Dans le cas des céréales et du maïs, il est important que la hauteur de la matière déversée ne dépasse pas un mètre afin de garantir une diffusion de chaleur suffisamment uniforme. Le séchage par lots ne convient pas pour les herbes coupées².

Pour l'aération du foin, il faut compter une efficacité de séchage de 1 à 2 kW par m² de meule de foin. Il faut veiller à ce que la hauteur de la meule de foin ne soit pas trop importante, maximum 1,4 à 2 m, sinon le séchage ne serait pas homogène. La température d'arrivée d'air ne doit pas dépasser 40°C, pour que le foin ne perde en qualité. Pour cette raison, pour certains types de séchage, il est judicieux d'installer des régulateurs de température. Pour une meule de foin de 150 m², avec une puissance de chauffage de 150 kW et une augmentation de température de 7,6°C par rapport à la température extérieure, une capacité de séchage de 142 litres par heure peut être atteinte. Pour le séchage du foin et de céréales, il faut garder à l'esprit que le séchage doit être effectué le plus rapidement possible. Dans le cas d'une grande quantité de foin ou de céréales, la puissance calorifique de l'installation de biogaz doit être bien calculée, car le stockage de la matière humide entraîne une perte de qualité et ne devrait pas durer plus de 1 à 2 jours¹⁰. Plus la matière à sécher est humide, moins élevées doivent être les températures de séchage et plus long est le processus de séchage.

Le grand avantage du séchage du bois est que le bois peut être stocké pendant plusieurs semaines sans perdre en qualité (voir tableau 4). En termes d'efficacité économique, il est plus intéressant de sécher par lots le bois, en particulier les copeaux de bois et les bûches, par rapport à d'autres produits agricoles, car le séchage du bois peut se faire tout au long de l'année¹⁰.

Matière sèche	Période	Stockage préliminaire (d)	Temps de séchage (d)	Température maximale de séchage (°C)
Bûches	Toute l'année	Oui	5–25	55–150
Copeaux de bois	Toute l'année	Oui	3–10	55–150
Céréales	Juin à août, en fonction de la météo	Maximum 2	Jusqu'à 2	30–65
Maïs	Oct./nov.	Maximum 1	Jusqu'à 2	30–65
Herbe, foin	Mai à oct., en fonction de la météo	Maximum 1	Jusqu'à 3	40

Tableau 4: Marchandises sèches agricoles pour les installations de biogaz et leurs exigences.

Exemple pratique: Production de pellets à l'installation de biogaz de Guin

Caractéristiques de l'installation de biogaz

Lieu: Guin (FR)

Année de construction de l'installation de biogaz: 2011

Taille de l'installation: 2 centrales de cogénération, soit un total de 740 kW_{el} et 774 kW_{th}

Composants de l'installation: Digesteur 3100 m³, digesteur secondaire 3600 m³, entrepôt de stockage des résidus de fermentation 5100 m³

Temps de rétention hydraulique: environ 40 jours

Température du processus: 42°C

Rendement de l'installation: 70%

Substrats de fermentation/matières premières: Environ 25'000 tonnes de lisier de bovins et de porcs, et de fumier de bovins, de poules et de chevaux. Environ 4000 tonnes de co-substrats

Production brute d'électricité: 4'273'000 kWh

Production brute de chaleur: 4'523'000 kWh

Utilisation de la chaleur résiduelle: 100% de la chaleur utilisée pour la production de pellets

Efficacité de séchage: La chaleur brute totale de l'installation de biogaz sert à sécher environ 8500 tonnes de pellets par an. Cela correspond à environ 400 kWh par tonne de pellets.

Matière sèche: Pour la production de pellets, la matière première peut contenir jusqu'à 60% d'eau.

Procédé de séchage: La chaleur résiduelle issue de la cogénération est envoyée directement au séchoir à bande au moyen d'un souffleur afin de sécher la biomasse ligneuse. Le procédé a été développé spécialement à cet effet

Objectif du séchage: La biomasse ligneuse est séchée pour obtenir 85% de la matière sèche

Origine de la biomasse ligneuse: Dans un rayon de 30 à 50 km

Type et qualité de la biomasse ligneuse: Tous types de bois (épicéa, sapin, hêtre, etc.) sont transformés, selon les disponibilités. Différentes qualités de bois peuvent être séchées. Par exemple, des copeaux de bois broyage, mais aussi de la sciure.

Certification: Les BestPellets portent le label «Granulés de bois naturel suisse» et sont fabriqués sans liant ni auxiliaire de pressage.

Contact

Monsieur Hubert Grossrieder

Luggiwil 20

3186 Guin

Courriel: hubigro@bluewin.ch



Figure 13: Parc bioénergétique de Guin avec silos de stockage pour les pellets séchés et l'installation de biogaz

Exemple pratique: Séchage de balles de foin à l'installation de biogaz Natur Energie

Caractéristiques de l'installation

Lieu: Oberrüti (AG)

Année de construction de l'installation de biogaz: 2006

Taille: 1 centrale de cogénération, 285 kW_{el} et 210 kWh_{th}

Composants de l'installation: Digesteur et digesteur secondaire 1800 m³,
entrepôt de stockage final 750 m³

Temps de rétention hydraulique: 50–90 jours (été-hiver)

Température du processus: 42–43°C

Substrats de fermentation/matières premières: 5500 tonnes de lisier de bovins, fumier de bovins et de volailles. Et environ 1300 tonnes de co-substrats

Production brute d'électricité: 1'470'000 kWh (2017)

Production brute de chaleur: ca. 2'000'000 kWh

Utilisation de la chaleur résiduelle: Séchage de balles de foin, séchage de foin en meule, séchage de fourrage en conteneur

Utilisation de chaleur externe (sans digesteur): Environ 580'000 kWh, soit environ 30% de la chaleur brute

Efficacité de séchage: Le foin en balles préséché termine son séchage dans le séchoir en 12 heures. Au cours de l'année, sont séchées 80 à 90 balles rondes de foin écologique d'un diamètre de 150 cm (environ 300 kg). Le séchoir permet de sécher 8 balles rondes à la fois.

Utilisation de la chaleur en hiver: En hiver, les bâtiments d'habitation de l'exploitation sont chauffés à l'eau chaude.

Contact

Monsieur René Leu

Reusshöfe 2

5647 Oberrüti

Tél: 079 605 09 32

Courriel: leurene@hotmail.com



Figure 14: Séchoir de balles de foin d'Inventa (à gauche) à l'exploitation Natur Energie et balles de foin écologiques séchées (à droite).

4.5 Stockage du biogaz et de la chaleur: possibilités et limites

Si le stockage du biogaz apparaît comme une solution idéale pour produire de l'énergie (électricité ou chaleur) en fonction de ses besoins, c'est aussi une solution qui a ses limites. En fait, le biogaz a une faible densité énergétique en termes de volume. Un mètre cube de biogaz (à une pression relative de 50 mbar et à 60% de CH₄) contient environ 6 kWh d'énergie, soit 1700 fois moins que le diesel. Cela nécessite de très grands volumes de stockage. Les grands réservoirs de stockage de biogaz sont coûteux, prennent beaucoup de place et doivent être conformes aux exigences réglementaires strictes qui s'appliquent aux volumes de plusieurs tonnes de biogaz stocké.

Différents types de stockage de biogaz sont possibles:

Stockage à basse pression (pression relative de quelques mbar) généralement sous une membrane souple (le volume varie et la pression reste constante) protégée par une membrane externe (système à double membrane). Ce type de stockage peut être utilisé directement comme toit pour le digesteur ou comme stockage indépendant.

Stockage à haute pression (10 à 300 bar) et variation de pression à volume constant. Cette solution présente deux inconvénients: une consommation élevée en électricité (environ 0,33 kWh pour comprimer 1 Nm³ à 300 bar) et la nécessité d'un traitement préalable (l'eau, l'hydrogène sulfuré et éventuellement le CO₂ doivent être éliminés avant le stockage à haute pression).

En ce qui concerne le **stockage de la chaleur**, les options suivantes sont disponibles:

Les **accumulateurs tampons** sont utilisés pour compenser les fluctuations quotidiennes et à court terme des besoins en chaleur. En cas d'utilisation de la chaleur sous forme d'eau chaude, il est possible de stocker l'énergie thermique pendant plusieurs heures dans un réservoir d'eau chaude (un réservoir de 25 m³ en acier inoxydable coûte environ CHF 40'000.–. Les ballons en polyester sont généralement moins chers).

Il existe également des systèmes de stockage saisonniers qui stockent la chaleur résiduelle produite en été pour la consommer en hiver. Les systèmes de stockage saisonniers sont en règle générale des accumulateurs géothermiques qui stockent l'énergie thermique dans le sol. Dans le contexte actuel, ils ne sont pas encore compétitifs dans le domaine des installations de biogaz.

Systèmes mobiles de stockage de chaleur dans des conteneurs pour transporter la chaleur (sous forme de chaleur latente) jusqu'aux consommateurs à une distance allant jusqu'à 20–30 km. Bien que commercialisés (par ex. TransHeat®), ces systèmes ne sont pas très répandus.

Autres exemples pratiques:

- Réseaux de chaleur à distance (exemples: installation de biogaz Unterbuck Thayngen, installation de biogaz Sprenger (Thurgovie))
- Chauffage des bâtiments dans les environs (exemples: installation de biogaz Riethof ou installation de biogaz Ferpicloz pour des fromageries)
- Chauffage de serres (exemple: Biogaz Mandement)

- Petites installations pour l'auto-provisionnement (exemples: installation de biogaz de Ruckli Wallis, installation de biogaz de Boschung, installation de biogaz de Vögtli)
- Chauffage des bâtiments et installations agricoles (étables, installations d'élevage d'animaux, exemples: installation de biogaz de Harder (volailles), installation de biogaz de Helfenberger)

4.6 Production de froid

La chaleur résiduelle des installations de biogaz peut être utilisée pour produire du froid. Les machines frigorifiques fonctionnent selon le principe suivant: l'évaporation d'un liquide à basse température absorbe la chaleur du milieu à refroidir. Les machines frigorifiques à absorption utilisent une source de chaleur pour faire fonctionner le circuit au lieu du compresseur. Le gaz est transformé en liquide par le biais du réfrigérant qui est absorbé dans un autre liquide, puis désorbé par la chaleur. Les couples d'éléments réfrigérants/absorbeurs utilisés pour ce procédé sont souvent l'ammoniac et l'eau ($\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$) ou la solution saline eau/bromure de lithium ($\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$). Le liquide désigné comme absorbeur agit comme un compresseur au niveau moléculaire.

Un matériau solide (adsorbant) peut être utilisé à la place d'une solution liquide. Cette technologie n'est pas encore répandue et sera abordée brièvement dans le présent document.

Machines frigorifiques à absorption

La figure suivante illustre le mode de fonctionnement d'un refroidisseur à absorption avec le couple $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$: l'ammoniac est utilisé comme réfrigérant et absorbeur d'eau.

1: L'ammoniac liquide produit un effet de refroidissement dans l'évaporateur. Il est évaporé en absorbant la chaleur de la substance à refroidir et est transformé en ammoniac gazeux. Cela permet d'extraire la chaleur de la source de chaleur à basse température.

2: Dans l'absorbeur, le réfrigérant est absorbé par une solution d'ammoniac à faible concentration et forme une solution concentrée d'ammoniac. L'absorbeur sert à fixer la vapeur du réfrigérant dans le liquide absorbant. La chaleur dégagée lors de l'absorption doit également être évacuée, par exemple par de l'eau circulant dans un refroidisseur d'air.

3: Cette solution est pompée vers le générateur, où elle est chauffée par la chaleur résiduelle de l'installation de biogaz. L'ammoniac s'évapore, sa pression et sa température augmentent et la solution est consommée et régénère l'ammoniac à faible concentration absorbante. Un séparateur (qui fonctionne comme une colonne de distillation) sépare les particules d'eau transportées avec l'ammoniac gazeux.

4: L'ammoniac gazeux passe par un condenseur pour être refroidi et redevient liquide. Le liquide de refroidissement avec lequel la vapeur du réfrigérant est condensée est généralement l'air ambiant. La pression du fluide frigorigène est ensuite réduite par le biais de la soupape de détente avant que le fluide frigorigène ne retourne à l'évaporateur.

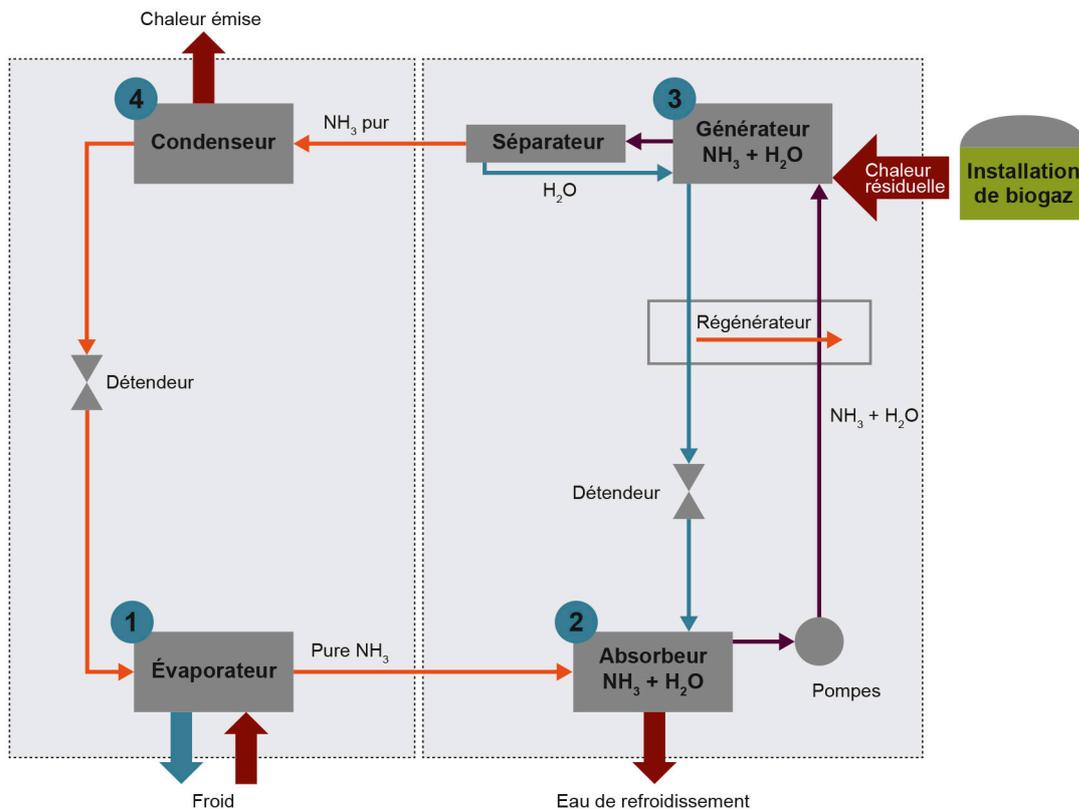


Figure 15: Schéma du procédé d'une machine frigorifique à absorption ammoniac-eau

De nombreuses machines à absorption sont disponibles sur le marché, mais leur capacité de refroidissement est de l'ordre de quelques kW. Grâce aux récents progrès dans la branche en question, plusieurs fabricants proposent aujourd'hui des machines d'une puissance allant jusqu'à 10 kW.

L'utilisation d'un refroidisseur à absorption dépend de la température de la chaleur résiduelle, du réfrigérant utilisé, du milieu absorbant et de la température de refroidissement souhaitée. Les machines de refroidissement LiBr/H₂O peuvent refroidir jusqu'à 5–6°C: l'effet de refroidissement est obtenu par évaporation de l'eau et le point de congélation de l'eau présente une limite dans l'utilisation de ce mélange. Le mélange NH₃/H₂O permet d'atteindre des températures plus basses de 0°C à –60°C. Pour une machine à simple effet (un seul étage de la source de chaleur, il existe aussi des machines à double et triple effet qui utilisent un générateur à plusieurs étages), la température de la source chaude doit être en règle générale supérieure à 80°C.

La puissance de la machine frigorifique est caractérisée par le coefficient de performance (COP), qui est le rapport entre la puissance fournie au générateur et la puissance de refroidissement fournie à l'évaporateur. Elle varie en fonction du type de liquide utilisé et des conditions d'exploitation (par ex. la température souhaitée de l'eau froide). Les systèmes disponibles sur le marché ont généralement un COP compris entre 0,2 et 0,7 pour les machines à simple effet.

Coûts d'investissement

Les coûts d'investissement se situent dans la fourchette suivante:

- 300 à 350 €/kW_{refroidissement}, couple réfrigérant LiBr/H₂O
- 500 à 1250 €/kW_{refroidissement}, couple réfrigérant NH₃/H₂O

Ces chiffres représentent des estimations rudimentaires et peuvent varier en fonction de l'application.

Principaux avantages et inconvénients du procédé

Avantages:

- Faible consommation d'électricité
- Possibilité d'utiliser la chaleur résiduelle pour le refroidissement
- Les réfrigérants sont pratiquement inoffensifs pour la couche d'ozone.
- Faible niveau de bruit et de vibration lors du fonctionnement
- Technologie éprouvée avec un coefficient de performance relativement élevé

Inconvénients:

- Nécessite de l'énergie pour faire fonctionner les pièces mobiles telles que les pompes
- Températures élevées du générateur
- Coûts d'investissement élevés
- Efficacité inférieure à celle des machines à compression
- Nécessite l'utilisation de liquides toxiques et inflammables tels que NH₃ ou H₂O/LiBr.

Fournisseurs:

- Grande puissance frigorifique (> 250 kW):
 - Carrier GmbH (DE) représentée en Suisse par www.meiertobler.ch, 60 à 1800 kW
- Puissance frigorifique moyenne à élevée (< 250 kW):
 - Yazaki (USA) représentée en Suisse par www.meiertobler.ch, 18 à 170 kW
 - EAW GmbH (DE), www.eaw-energieanlagenbau.de, 15 à 250 kW
 - SolarNext AG (DE), www.solarnext.de, 20 à 200 kW

**Exemple pratique d'une installation fonctionnant grâce à ce procédé:
Exploitation de Norbert Wirsching, Rieth, Allemagne****Caractéristiques de l'installation****Lieu:** Rieth, Allemagne**Mise en service:** 2002**Paramètres:**

- digesteur en acier de 800 m³ avec réservoir de stockage de gaz intégré
- Moteur à gaz Otto de 85 kW_{el} avec production combinée de chaleur et d'électricité et utilisation de la chaleur résiduelle pour chauffer et climatiser des porcheries

En 2002, une installation de biogaz a été construite à la ferme de M. Wirsching à Rieth (Thuringe). À cette époque, la ferme comptait 300 vaches laitières, ainsi que des places d'engraissement pour les veaux mâles, et 1200 places d'engraissement pour les porcs. La ferme cultivait au total 1200 ha de terre.

Dans la première phase de planification de l'installation de biogaz, le lisier de bovins a été l'intrant le plus important. Il a été également prévu d'ajouter le maïs d'ensilage et les résidus de céréales. Étant donné qu'il était difficile de valoriser la chaleur résiduelle de la centrale de cogénération, il a été décidé de construire 900 places d'engraissement supplémentaires pour les porcs et d'installer dans la porcherie un système de climatisation avec un refroidisseur à absorption. Le lisier de porc supplémentaire est également fermenté dans l'installation de biogaz.

Au cours de la première année d'exploitation, entre août 2002 et juillet 2003, l'installation a converti 480'000 Nm³ de biogaz en électricité, avec un rendement électrique de 30% (rendement global de 83%).

Un refroidisseur à absorption de Wegracal SEA a été installé pour climatiser les porcheries. En hiver, l'eau chaude est pompée vers l'échangeur de chaleur pour chauffer les porcheries. En été, lorsque la température atteint 23°C, le système d'absorption démarre et l'eau froide est pompée dans l'échangeur thermique. L'investissement total pour le refroidisseur à absorption s'élevait à environ 60'000 euros.

Contact

Agricultural company of Norbert Wirsching

Hauptstr. 7

98663 Rieth, Allemagne

Tél: +49 36871 29608

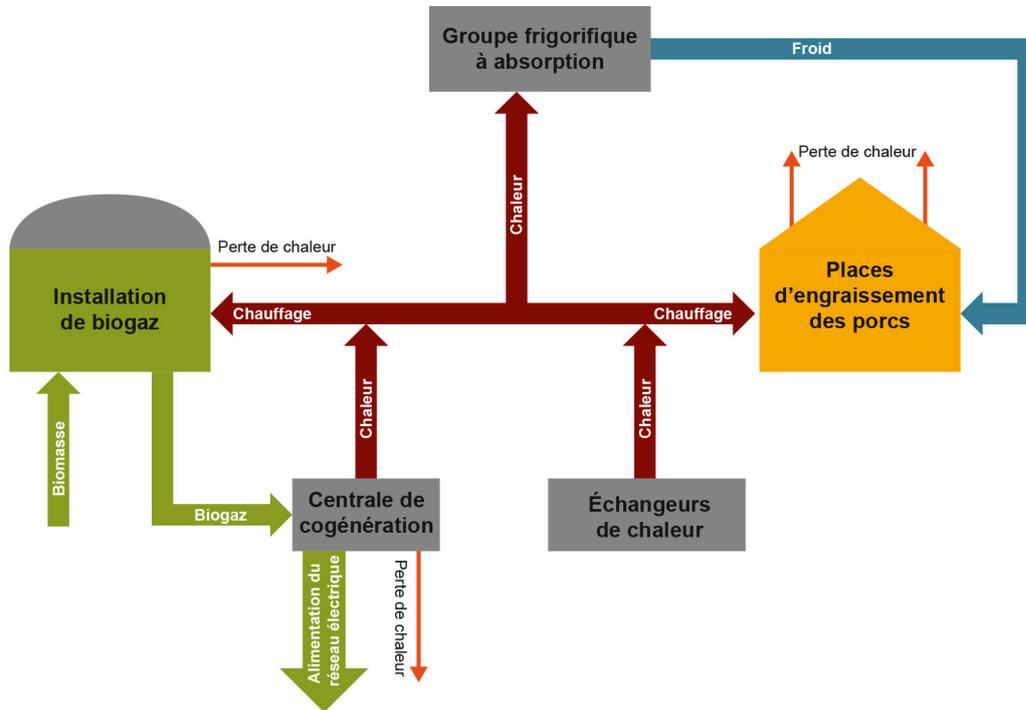


Figure 16: Schéma de circulation pour l'installation de biogaz de Rieth (source: BiogazHeat. 2012. Good Practice Examples of Efficient use of heat from Biogas Plant)

Refroidisseurs à adsorption

Un matériau solide (adsorbant) peut être utilisé à la place d'une solution liquide. Les systèmes disponibles sur le marché utilisent l'eau comme réfrigérant, et le gel de silice ou plus récemment la zéolite comme adsorbant. Actuellement, seuls quelques fabricants produisent ces machines d'adsorption. Avec une température de source de chaleur chaude d'environ 80°C, ces systèmes atteignent un COP d'environ 0,6, mais ils peuvent fonctionner à des températures allant jusqu'à environ 60°C. La puissance frigorifique de ces machines varie de 7 kW à 500 kW.

Avantages (par rapport aux refroidisseurs à absorption)	Inconvénients (par rapport aux refroidisseurs à absorption)
Aucune pompe nécessaire: donc, une consommation d'électricité particulièrement faible	Dimensions et poids élevés
Température du générateur requise généralement plus basse	Technologie non éprouvée
Pas de risque de cristallisation, donc pas de contrainte mécanique pour les refroidisseurs intermédiaires	Coefficient de puissance inférieur

Tableau 5: Avantages et inconvénients des machines à adsorption

Utilisation du froid

Le froid peut être utilisé dans un réseau de refroidissement urbain qui, comme dans un réseau de chauffage urbain, distribue de l'eau froide au lieu de la chaleur. Cependant, la chaleur résiduelle des installations de biogaz est généralement trop peu importante pour être injectée dans les grands réseaux. Des systèmes de refroidissement pour des micro-réseaux sont concevables à plus petite échelle, mais la climatisation d'habitations grâce à la chaleur résiduelle des installations de biogaz ne représente encore qu'une application de niche.

Les applications possibles du froid sont:

- Climatisation de locaux publics et privés
- Système de climatisation pour le stockage d'aliments (fruits, légumes, viande)
- Climatisation d'étables (par ex. porcherie)
- Climatisation de salles informatiques
- Refroidissement du lait à la ferme ou dans des locaux industriels

4.7 Production supplémentaire d'électricité^{3,4,5,6,7,8,9}

Il existe des solutions techniques pour convertir la chaleur résiduelle produite dans une centrale de cogénération en électricité supplémentaire grâce à un cycle thermodynamique. Il s'agit en général d'une série de transformations successives d'un fluide qui part d'un système thermodynamique dans un état donné pour être transformé, puis ramené à son état initial. Au cours du cycle, la température, la pression et les autres paramètres relatifs à l'état varient dans le système pendant qu'il transfère la chaleur et le travail.

³ BiogazHeat. 2015. *Sustainable Heat Use of Biogas Plants. A Handbook. 2nd edition.*

⁴ Site internet de l'ADEME. *Cycle ORC.* <http://www.recuperation-chaleur.fr/cycle-orc>

⁵ Region Aktiv Wendland/Elbetal. 2007. *Wärmenetze an Biogasanlagen. Ein Leitfaden.*

⁶ Institut de l'énergie de Brême. 2007. *Leitfaden. Verwertung von Wärmeüberschüssen bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen*

⁷ Club Biogaz de l'ATEE. 2013. *Guide pour l'optimisation de l'efficacité énergétique des installations de biogaz*

⁸ Hornig N, Lüttgens S. 2015. *Wirtschaftliche Optimierung von Biogasanlagen mit bestehendem Wärmenutzungskonzept.* Biogas Journal 4_2015.

⁹ Diederich F. 2016. *L'ORC, une technologie mature, écologique et qui maximise la production d'électricité.* Bioénergie International n°43.

Le cycle thermodynamique le plus couramment utilisé pour récupérer la chaleur résiduelle des installations de biogaz est le cycle de Rankine. Ce cycle comprend quatre phases:

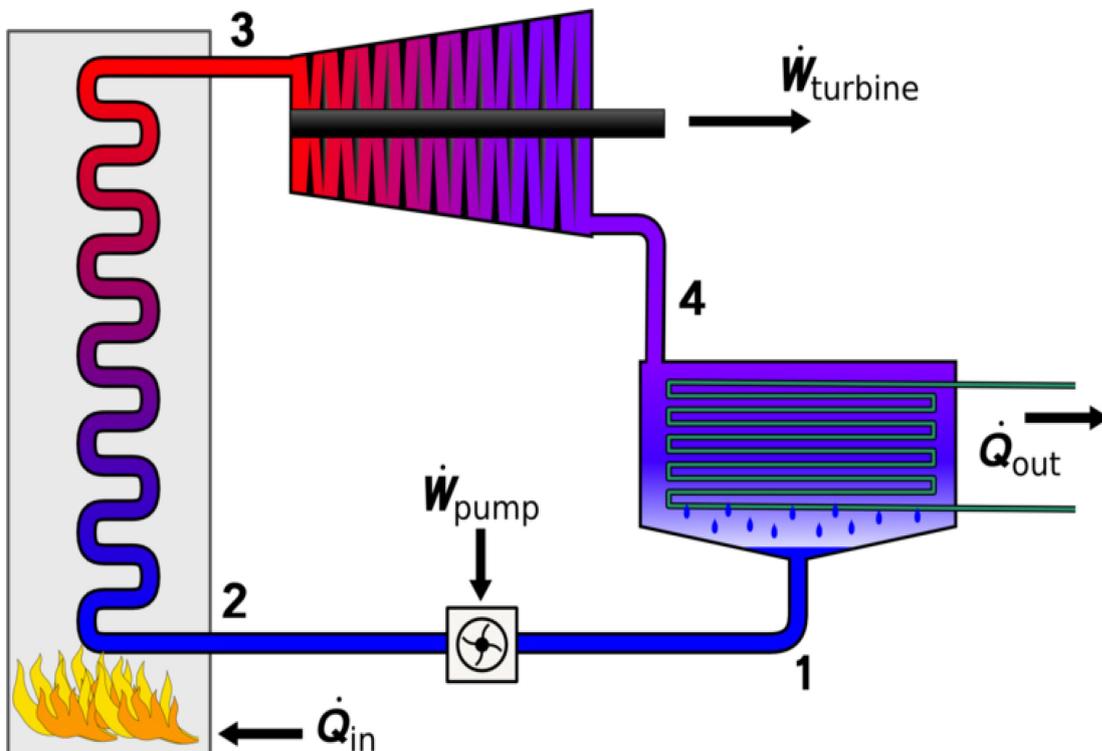


Figure 17: Schéma du cycle de Rankine (source: BiogazHeat. 2015. Sustainable Heat Use of Biogas Plants. A Handbook. 2nd edition.)

1 → 2: Le fluide de travail est comprimé. À cette étape, le fluide est à l'état liquide et son pompage nécessite peu d'énergie.

2 → 3: Le liquide comprimé arrive dans un évaporateur, où il est chauffé à une pression constante par la chaleur résiduelle de l'installation de biogaz et évaporé.

3 → 4: Le fluide de travail ainsi évaporé se détend dans la turbine, où l'énergie thermique est convertie en énergie mécanique. Comme cette dernière est couplée à un générateur, le flux de fluide permet de produire de l'électricité. La température baisse et avec elle la pression de vapeur, de sorte que le fluide se condense.

4 → 1: Le fluide entre dans un condenseur, où il est refroidi et redevient liquide, puis répète le cycle.

ORC (cycle organique de Rankine)

Description technique

Le cycle ORC est un cycle thermodynamique. Il s'agit d'une catégorie spécifique du cycle de Rankine qui utilise comme fluide de travail un fluide organique au lieu de l'eau et de la vapeur d'eau. La chaleur ainsi obtenue sert à faire évaporer le fluide organique du circuit. Le gaz obtenu grâce à une pression de 16 bar se détend dans la micro-turbine ce qui produit de l'électricité.

Font partie des liquides organiques les alcanes, les alcanes fluorés, les éthers et les éthers fluorés. La sélection du fluide de travail est essentielle pour les cycles ORC. L'efficacité du transfert de chaleur est un paramètre important.

La chaleur résiduelle du circuit ORC peut théoriquement être utilisée, par exemple, pour chauffer le digesteur, mais elle est souvent libérée dans l'atmosphère.



Figure 18 (à gauche): ORC de GE Energy (Source: GE Energy)

Figure 19 (à droite): Système ORC de l'installation de Kompogas à Klingnau (source: Eneftech)

Puissance

Le rendement global d'un cycle ORC est défini comme le rapport entre l'énergie électrique produite, tout en prenant en compte la consommation électrique nécessaire au fonctionnement de l'installation (pompe, composants auxiliaires), et l'énergie thermique consommée par l'évaporateur. Ce rendement est relativement faible, généralement entre 7 et 10% ¹⁰ (toutefois, il peut aussi atteindre 20%¹¹). L'efficacité électrique globale peut ainsi être améliorée. Cela peut améliorer le retour sur investissement et la productivité de l'investissement.

¹⁰ Diederich F. 2016. *L'ORC, une technologie mature, écologique et qui maximise la production d'électricité*. Bioénergie International n°43.

¹¹ Site internet de l'ADEME. *Cycle ORC*. <http://www.recuperation-chaleur.fr/cycle-orc>

La large gamme de choix en termes de fluide de travail permet de récupérer des sources de chaleur de 85°C à 350°C. L'efficacité et la rentabilité d'une installation dépendent directement du niveau de température et du débit du fluide caloporteur.

Coûts d'investissement

Les coûts d'investissement pour un module ORC dépendent de la puissance thermique. Pour les modules d'une puissance électrique inférieure à 100 kW_{el}, les coûts d'investissement varient entre 5500 et 15'000 CHF/kW_{el}¹². Les coûts d'investissement sont moindres pour les installations avec une puissance électrique plus élevée.

Les principaux avantages et inconvénients du procédé

Avantages:

- Possibilité d'utiliser une source de chaleur chaude avec une température inférieure (70–90°C) en raison de la température d'ébullition inférieure des liquides organiques par rapport à la température d'évaporation de l'eau.
- Vitesse de rotation, pression et usure des turbines moindres en raison du poids moléculaire plus élevé des liquides organiques.
- Production d'électricité sans ressources fossiles et sans émissions de gaz nocifs

Inconvénients:

- Rendement électrique modeste
- Liquides inflammables en tant que fluides

Fournisseurs de technologies

- Enogia (FR), représentée en Suisse par www.ofatec.ch 5 à 100 kW_{el}
- ORCAN Energy AG (DE), www.orcan-energy.com 5 à 100 kW_{el}

Liste non exhaustive des fournisseurs

Le biogaz produit de l'électricité et de la chaleur (cogénération).

L'installation produit environ 2,5 GWh d'électricité par an. La puissance électrique de la centrale de cogénération s'élève à 330 kW (rendement électrique 40%). La puissance thermique de la centrale de cogénération est de 395 kW.

Afin de valoriser la chaleur résiduelle générée par le moteur, une turbine ORC d'une puissance électrique de 20 kW_{el} a été installée, qui consomme 200 kW_{th} issus du refroidissement des gaz d'échappement du moteur. La chaleur fournie à l'ORC présente une température de 140°C et une pression de 8 bar.

¹² OFEN, *Abwärmenutzung in landwirtschaftlichen Biogasanlagen*, janvier 2009

Le fournisseur et prestataire de services de maintenance des systèmes ORC est la société suisse Eneftch Innovation SA. Depuis sa mise en service, l'ORC a augmenté la production d'électricité du moteur à gaz d'environ 6%.

Autres systèmes

Cycle de Kalina: Le procédé Kalina est une solution alternative à celui de l'ORC. Cependant, il est très rarement utilisé dans les installations de biogaz. Ce procédé emploie un mélange d'eau et d'ammoniac comme fluide de travail.

Avantages (par rapport à l'ORC)	Inconvénients (par rapport à l'ORC)
L'ammoniac et l'eau sont moins chers que les liquides organiques utilisées dans le procédé ORC.	Quelques très petites installations de biogaz disposent de très petits modules de cycle de Kalina.
Possibilité d'adaptation à différentes températures	L'ammoniac présente un potentiel de corrosion élevé, ce qui entraîne une usure accrue et nécessite un équipement spécial.
Efficacité énergétique supérieure à celle des systèmes ORC	Coûts d'investissement totaux plus élevés que pour les installations ORC
	L'ammoniac est toxique et dégage une très forte odeur, son rejet dans l'atmosphère est à éviter.
	L'ammoniac est inflammable et explosif.

Tableau 6: Avantages et inconvénients du procédé Kalina

Moteurs Stirling: Compression et détente des gaz (air) au moyen d'une source de chaleur externe. Production d'énergie mécanique à partir de l'énergie thermique.

Inconvénients (par rapport à l'ORC)
L'utilisation de la chaleur résiduelle issue des installations de biogaz présente des limites en raison des basses températures de cette chaleur résiduelle (le système de Stirling fonctionne mieux à haute température, d'environ 900°C).
Coûts d'investissement élevés
Les moteurs Stirling, disponibles dans le commerce, présentent des puissances faibles jusqu'à environ 40 kW _{el} .
Il y a un risque de corrosion de l'échangeur de chaleur à cause du SO ₂

Tableau 7: Inconvénients des moteurs Stirling

Turbine à gaz d'échappement de moteur: Autre possibilité d'augmenter la production totale d'électricité → Installation d'une turbine à gaz fonctionnant avec le flux des gaz d'échappement du moteur.

Inconvénients (par rapport à l'ORC)
Seuls quelques fournisseurs proposent des systèmes de turbines à gaz qui fonctionnent avec les gaz d'échappement des moteurs à biogaz.
Risque de corrosion des turbines, car les gaz d'échappement sont corrosifs.

Tableau 8: Inconvénients des turbines à gaz d'échappement de moteur

5. Bases juridiques

5.1 Bases juridiques relatives à l'utilisation de la chaleur dans les installations de biogaz produisant du biométhane

Si le biogaz est destiné à être injecté dans le réseau de gaz naturel, il doit avoir la qualité correspondante. À cet effet, après le séchage et la désulfuration, le CO₂ et les autres composants gazeux

doivent en être éliminés le plus complètement possible. Il existe différentes technologies de production, qui se différencient par leurs besoins en énergie. Par exemple, le lavage aux amines nécessite une quantité relativement importante d'énergie thermique, environ 0,7 kWh/Nm³, ce qui correspond à environ 7% du contenu énergétique du biométhane produit. Les autres technologies (PSA, lavage à l'eau sous pression, procédés à membrane) ne nécessitent pas d'énergie thermique, mais consomment beaucoup d'électricité par rapport au lavage aux amines.

Les installations qui transforment le biogaz en biométhane consomment de la chaleur, sans compter celle qui est utilisée pour le chauffage des substrats et des digesteurs; ces besoins doivent être couverts par des installations adaptées. De ce fait, aucune base juridique n'est nécessaire en ce qui concerne l'utilisation de la chaleur.

5.2 Bases juridiques concernant l'utilisation de la chaleur dans les installations de biogaz qui ne sont pas concernées par la rétribution de l'injection

Il existe quelques installations de biogaz agricoles qui exploitent des centrales de cogénération et ne bénéficient pas de rétribution de l'injection. Il s'agit de petits systèmes qui fournissent en règle générale de la chaleur de confort et de l'eau chaude à la ferme.

Dans le cas des centrales commerciales et industrielles, il n'y a que quelques centrales assez anciennes qui exploitent des centrales de cogénération et ne bénéficient pas de rétribution de l'injection.

Les installations qui ne reçoivent pas de rétribution de l'injection ne sont pas soumises à des exigences légales relatives à l'utilisation de la chaleur.

5.3 Prescriptions légales relatives à l'utilisation de la chaleur dans le cadre du système de rétribution de l'injection (dispositions relatives à l'utilisation de la chaleur)

L'[article 19](#) de la loi sur l'énergie ([LEne, RS 730.0](#)) définit les conditions de participation au système de rétribution de l'injection. Les nouvelles installations de biogaz (mises en service après le 01.01.2013) peuvent ainsi participer au système de rétribution de l'injection (SRI). Le SRI a remplacé à partir du 01.01.2018 l'ancien «*système de rétribution de l'injection axé sur les coûts*» (*RPC*). L'art. 19, alinéa 7, let. c de la LEne confère également au Conseil fédéral le pouvoir de régler les détails relatifs au système de rétribution de l'injection. En ce qui concerne l'utilisation de la chaleur, le Conseil fédéral peut définir «*les exigences minimales en termes d'énergie, d'écologie et autres*». Le Conseil fédéral a mis en œuvre l'Ordonnance sur l'encouragement de la production d'électricité issue d'énergies renouvelables ([OEneR, RS 730.03](#)), en vertu de l'art. 19 de la LEne, dans laquelle les dispositions de l'ancienne ordonnance sur l'énergie relative à l'utilisation de la chaleur ont été transférées le 01.01.2018 sans modification substantielle. Toute personne souhaitant bénéficier de la rétribution pour l'injection d'électricité issue d'énergies renouvelables doit satisfaire aux exigences minimales correspondantes, telles que les dispositions relatives à l'utilisation de la chaleur. Cette question sera abordée plus loin.

Selon la LEne révisée, [Pronovo SA](#), filiale à 100% de [Swissgrid](#) et soumise à la surveillance de l'OFEN, est responsable de la mise en œuvre depuis 2018. Le contrôle de la conformité aux exigences minimales dans la pratique relève de sa compétence.

Réserve: Dans leurs lois sur l'énergie, les cantons peuvent édicter leurs propres règles dans certains domaines afin d'optimiser la valorisation de la chaleur. Toutefois, les dispositions particulières cantonales ne seront pas abordées dans le présent guide.

5.4 Dispositions générales relatives à l'utilisation de la chaleur dans le cadre du système de rétribution de l'injection

Calcul de la chaleur utilisée en externe

La chaleur utilisée en externe est calculée exclusivement mathématiquement à partir de la production d'électricité déclarée (production nette d'électricité) de la manière suivante:

$$\text{Production brute de chaleur} = \frac{\text{Production nette d'électricité} \cdot \text{Puissance thermique installée}}{\text{Puissance électrique installée}}$$

Seule la chaleur qui part de l'installation de biogaz est prise en compte dans le cadre de l'utilisation de la chaleur externe. En particulier, le chauffage du digesteur est considéré comme une utilisation de chaleur interne, et par conséquent n'est pas prise en compte. Seule l'utilisation externe doit être justifiée par le biais des compteurs étalonnés. Une utilisation économique et rationnelle de l'énergie est attendue. Une utilisation apparente de la chaleur n'est pas autorisée.

Aspects temporels

Dans le cas des nouvelles installations, il convient de noter que les exigences relatives à l'utilisation de la chaleur doivent être remplies dès le début de la troisième année civile complète suivant sa mise en service (ch. 2.2.1 de l'[annexe 1.5 de l'OEneR](#)). La période de mesure ou d'évaluation correspond toujours à une année civile.

En général, les périodes d'évaluation suivantes s'appliquent conformément à l'annexe 1.5 de l'OEneR: Trois mois pour le respect des exigences écologiques (ch. 2.3.1), trois mois pour les exigences générales (ch. 2.1.3), une année civile pour les exigences énergétiques (ch. 2.2.2).

Dispositions générales relatives à l'utilisation de la chaleur dans le cadre du système de rétribution de l'injection axé sur les coûts (RPC).

Dispositions transitoires pour le bonus de cogénération selon l'ancienne loi

Les installations de biogaz qui ont été mises en service avant le 01.01.2018 après une décision positive ou qui ont reçu une décision positive avant le 01.01.2018 pour être admises dans le SRI et qui ont soumis le rapport d'avancement du projet conformément à l'ancienne loi, bénéficient d'un bonus de cogénération supplémentaire à hauteur de 2,5 cts/kWh d'électricité injectée. Ce bonus est

basé sur l'annexe 1.5 de l'ancienne OEne, ch. 6.5. La condition préalable est que l'exigence minimale soit dépassée d'au moins 20% (en se référant à la production brute de chaleur).

Avec l'entrée en vigueur de la nouvelle ordonnance sur l'encouragement de la production d'électricité issue d'énergies renouvelables OEneR, ce bonus est supprimé.

5.5 Bases juridiques pour les installations commerciales et industrielles

Norme déterminante

Les exigences minimales concernant l'utilisation de la chaleur dans le cadre du système de rétribution de l'injection (SRI) sont répertoriées dans l'OEneR. L'[annexe 1.5 de l'OEneR](#) traite des «*Installations de biomasse dans le système de rétribution de l'injection*». Sous le [ch. 2, Exigences minimales](#), le ch. 2.2.4, let. b, ch. 2 stipule: «***Pour les autres installations, la part de la chaleur utilisée en externe (c.-à-d. sans consommation propre de l'installation productrice d'énergie) doit être d'au moins 40% de la production de chaleur brute***».

Interprétation de la norme

Sous «*autres installations*», il faut entendre d'après l'ordonnance les installations commerciales et industrielles. Il s'agit exclusivement de celles qui produisent de l'électricité à partir du biogaz dans une centrale de cogénération, qui alimentent le réseau en électricité et qui bénéficient de subventions fédérales. Jusqu'à fin 2017, les subventions ont été versées par le système de rétribution de l'injection axé sur les coûts (RPC), et à partir de 2018 par le système de rétribution de l'injection. La norme s'applique aussi bien aux nouvelles installations qu'à leur extension.

Répercussions d'ordre pratique

Les besoins en chaleur du digesteur sont considérés comme consommation propre. Selon le type d'installation, cela signifie qu'une partie considérable de la chaleur n'est pas disponible pour une utilisation externe. Par conséquent, compte tenu de l'obligation légale d'utiliser 40% de la chaleur disponible à l'extérieur, une proportion considérablement plus élevée de la chaleur totale doit être utilisée à l'extérieur. Dans l'exemple du tableau 9, cela représente 53%.

Prenons un exemple:

Production brute de chaleur	200 [kWh]
Consommation propre pour le digesteur	-50 [kWh]
Pour l'utilisation, il reste	150 [kWh]
Utilisation externe minimale 40% de la production brute de chaleur (200 kWh)	80 [kWh]
Pourcentage de l'utilisation externe minimale (80 kWh) par rapport à l'utilisation potentielle restante (150 kWh)	53%

Tableau 9: Exemple du taux d'utilisation de la chaleur

Dans l'exemple du Tableau 9, la chaleur utilisée en externe devrait passer de 80 kWh à au moins 120 kWh pour avoir droit au bonus de cogénération, ce qui donnerait un taux d'utilisation de 80% pour une quantité de chaleur effective de 150 kWh disponible pour des usages externes.

5.6 Bases juridiques pour les installations agricoles

Exigences minimales relatives à l'utilisation de la chaleur dans le cadre du système de rétribution de l'injection (SRI)

Conformément à l'[annexe 1.5, ch. 2.2.4 de l'OEnER](#), les nouvelles installations qui peuvent prétendre au bonus agricole conformément au [ch. 3.4](#) de la même annexe doivent **seulement** couvrir les **besoins en chaleur de l'installation productrice d'énergie** (par exemple, chauffage du digesteur) au moyen des rejets de chaleur de l'installation CCF ou en utilisant des énergies renouvelables.

Acheminement de chaleur et de chaleur résiduelle à travers la zone agricole

Les conduites pour l'acheminement de la chaleur et de la chaleur résiduelle sont conformes à l'affectation de la zone. L'énergie acheminée sur de longues distances doit atteindre des «consommateurs appropriés». Une limite effective de la distance d'acheminement autorisée n'est pas fixée dans le texte de la loi. Selon une estimation réalisée en 2010¹³ par l'Association suisse pour l'aménagement du territoire (VLP-ASPAN), *«les consommateurs des zones de construction voisines et des bâtiments d'habitation et d'exploitation situés à proximité immédiate sont susceptibles d'entrer en ligne de compte. La chaleur résiduelle obtenue en tant que produit secondaire doit être utilisée à bon escient et ne doit pas rester inutilisée en raison d'un manque de consommateurs. Toutefois,*

¹³ Expertise pour le compte de l'Office des affaires communales et de l'organisation du territoire du canton de Berne, publiée sous le titre «Energiegewinnung aus Biomasse» dans la revue Raum & Umwelt juillet 2010 de l'Association suisse pour l'aménagement du territoire

plus les consommateurs sont éloignés du lieu de production de l'énergie, plus les pertes de chaleur dues au transport sont importantes et plus l'intérêt économique de la production de chaleur est faible».

6. Liste de contrôle – Questions et réponses les plus importantes relatives à l'utilisation de la chaleur

Situation/Question	Options	Renvois
Quels sont les besoins propres en chaleur d'une installation?	<ul style="list-style-type: none"> • On estime que les besoins propres en chaleur s'élèvent en moyenne à 30%. Toutefois, dans le cas des petites installations, les besoins propres peuvent constituer 40 à 60%. • Une isolation renforcée du digesteur ou du digesteur secondaire permet de réduire les besoins propres. • Les besoins propres de l'installation sont plus faibles en été qu'en hiver. Une courbe annuelle permet de calculer la disponibilité. 	Chapitres 3 et 4.1
Quelle quantité de chaleur brute puis-je utiliser? Quel taux de rendement global puis-je atteindre?	<ul style="list-style-type: none"> • Compte tenu des différentes utilisations de chaleur et des besoins propres en chaleur, un taux de rendement total de 70% semble tout à fait envisageable. C'est assez difficile d'obtenir dans la pratique un taux nettement supérieur à 70% dans l'utilisation de chaleur, car les besoins en chaleur en été sont moindres. • Pour déterminer la disponibilité de la chaleur, il convient de comparer la production de chaleur résiduelle aux besoins en chaleur au moyen d'une courbe annuelle. 	Chapitres 3 et 4.1
Le choix de la centrale de cogénération joue-t-il un rôle dans l'utilisation de la chaleur?	<ul style="list-style-type: none"> • Le choix de la centrale de cogénération joue un rôle majeur. Selon le fabricant et le type, le rendement thermique se situe entre 40 et 60%. • Une microturbine à gaz permet de produire plus de chaleur qu'un moteur. 	Chapitre 4.1

Situation/Question	Options	Renvois
Existe-t-il des exigences minimales pour la récupération de chaleur?	<ul style="list-style-type: none"> • Les installations de biogaz agricoles RPC sont tenues de couvrir leurs propres besoins en chaleur au moyen des énergies renouvelables. • Les installations agricoles faisant partie du système RPC et bénéficiant du bonus chaleur doivent en outre prouver une utilisation de chaleur en externe de 20%. • Les installations commerciales et industrielles sont tenues d'utiliser au moins 40% de leur production brute de chaleur en externe, en plus de couvrir leurs propres besoins en chaleur. 	Chapitres 5.1 et 5.2
Qu'entend-t-on par utilisation interne ou externe de la chaleur?	<ul style="list-style-type: none"> • L'Office fédéral de l'énergie déclare que tous les composants de l'installation «qui sont nécessaires du point de vue technique ou qui sont indispensables à une exploitation de l'installation productrice d'énergie conformément à la loi» se trouvent dans le périmètre du système. 	Chapitre 5
Comment puis-je obtenir le bonus chaleur (de cogénération)?	<ul style="list-style-type: none"> • En tant que nouvelle installation ayant intégré le système de rétribution de l'injection après le 1er janvier 2018, vous ne pouvez plus bénéficier du bonus chaleur (supprimé). • En tant qu'installation faisant partie du système RPC avant le 1er janvier 2018, vous pouvez obtenir le bonus chaleur si: <ul style="list-style-type: none"> • votre installation de biogaz agricole utilise plus de 20% de la chaleur résiduelle pour des usages externes (c'est-à-dire, en plus des besoins propres en chaleur et à l'extérieur de l'installation). • votre installation commerciale ou industrielle valorise plus de 60% de la production brute de chaleur à l'extérieur, en plus de couvrir ses propres besoins en chaleur 	Chapitre 5.1
Dois-je prouver la valorisation externe de la chaleur?	<ul style="list-style-type: none"> • Pour obtenir le bonus chaleur, les installations faisant partie du système RPC doivent démontrer la quantité de chaleur réellement valorisée à l'extérieur au moyen des compteurs de chaleur étalonnés. 	Chapitre 5

Situation/Question	Options	Renvois
<p>Puis-je faire certifier la réduction du CO₂ obtenue grâce à l'utilisation de la chaleur?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pour les installations existantes qui bénéficient déjà du bonus chaleur, la certification n'est pas possible, car autrement cela correspondrait à une double subvention. • En principe, les modes d'utilisation de chaleur qui vont au-delà des exigences minimales imposées par la loi ouvrent droit à une certification CO₂. • Ce qui suit s'applique aux nouvelles installations: <ul style="list-style-type: none"> • Installations de biogaz agricoles: Étant donné que le bonus chaleur est supprimé avec l'entrée en vigueur de la nouvelle ordonnance sur l'encouragement de la production d'électricité issue d'énergies renouvelables, l'établissement de certificats pour une utilisation externe de la chaleur devrait en principe être possible. • Installations de biogaz commerciales et industrielles: Seule une utilisation externe de la chaleur supérieure à l'exigence minimale de 40% peut être certifiée. • Le rapport coûts-bénéfice des certificats CO₂ pour l'utilisation de la chaleur est faible, en particulier pour les installations individuelles. 	<p>Chapitre 3.3</p>
<p>Quelles solutions existent pour stocker la chaleur?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Les accumulateurs d'eau chaude peuvent être utilisés comme accumulateurs tampons; ils gardent la chaleur pendant plusieurs heures ou, s'ils sont de taille importante, pendant plusieurs jours. • Les autres solutions sont les accumulateurs de chaleur latente ou les systèmes de stockage thermochimique. Cependant, ils sont plus chers que les réservoirs de stockage d'eau chaude et peu répandus. • Les systèmes de stockage saisonnier, c'est-à-dire les accumulateurs géothermiques, sont encore chers et jusqu'à présent n'ont pas été rentables pour les installations de biogaz. 	<p>Chapitre 4.3</p>

Situation/Question	Options	Renvois
<p>Mon installation de biogaz sera située près d'un quartier résidentiel. Quelles sont les possibilités qui s'offrent à moi?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Renseignez-vous sur la possibilité d'alimenter un réseau de chaleur à distance. Il existe peut-être déjà des lignes municipales qui peuvent être étendues. • Au début, la densité de raccordement devrait être d'au moins 0,7 MWh par an et par mètre de ligne, et d'au moins 1,2 MWh dans la phase finale. Une densité de raccordement > 2 MWh par mètre et par an est idéale, surtout en terrain difficile. • En tant que fournisseur de chaleur, vous devez assurer la mise à disposition de la chaleur. Vous devriez inévitablement investir dans un accumulateur de chaleur. • Seule la charge de base peut être couverte par la chaleur. Si vous souhaitez également couvrir la charge de pointe, vous aurez besoin d'une source de chaleur supplémentaire (p. ex. chauffage à copeaux de bois). 	<p>Chapitres 3.1 et 4.2 avec exemple pratique</p>
<p>Ma nouvelle installation de biogaz sera située près d'une zone industrielle. Quelles sont les possibilités qui s'offrent à moi?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Les entreprises qui ont besoin de chaleur toute l'année sont particulièrement intéressantes pour vous. Même si votre installation ne peut pas couvrir la totalité des besoins en chaleur, la couverture d'une partie des besoins reste intéressante. Des pépinières, des fromageries et des piscicultures peuvent être vos clients. 	<p>Chapitre 4.2 avec exemple pratique</p>

Situation/Question	Options	Renvois
<p>Ma nouvelle installation de biogaz sera décentralisée et sans accès à des consommateurs de chaleur. Quelles sont les possibilités qui s'offrent à moi?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Votre installation de biogaz devra alors être rentable sans revenu calorifique. • Pour les installations de biogaz agricoles: Réfléchissez quels sont les processus nécessitant de la chaleur sur votre exploitation et quels sont parmi ces processus ceux qui peuvent fonctionner avec de la chaleur résiduelle. Applications possibles: <ul style="list-style-type: none"> • Séchage de produits agricoles tels que céréales, foin, copeaux de bois, etc. • Ventilation des meules de foin • Éventuellement évaporation de l'eau excédentaire du lisier • Chauffage d'étables, de porcheries, de salles de traite • Chauffage de bâtiments d'habitation • Hygiénisation des déchets alimentaires • Pour les installations industrielles et commerciales, il peut être utile de chauffer de l'eau pour nettoyer les véhicules et les conteneurs de collecte des ordures. • Une application plus récente est l'exploitation d'un système ORC pour produire davantage d'électricité à partir de la chaleur résiduelle. La Suisse compte à l'heure actuelle deux systèmes de ce type qui fonctionnent dans des installations de biogaz. 	<p>Chapitre 4.4</p>

Situation/question	Options	Renvois
Quelles sont les marchandises qui peuvent être séchées avec la chaleur résiduelle?	<ul style="list-style-type: none"> • Les copeaux de bois rencontrent un grand succès, car ils peuvent être stockés avant d'être séchés et ne sont pas sensibles aux températures élevées. De plus, ils peuvent être séchés à n'importe quelle période de toute l'année. • Le foin occupe la deuxième position, après le bois, en termes de séchage. Le foin peut être séché en balles ou en vrac (séchage de foin en meule ou en conteneur). • Les autres marchandises concernées sont les céréales, le maïs, produits d'ensilage ou le marc (de pomme). En principe, tout ce qui peut être bien ventilé dans un conteneur peut être utilisé. 	Chapitre 4.4 avec des exemples pratiques
Puis-je convertir la chaleur en froid?	<ul style="list-style-type: none"> • Grâce aux refroidisseurs à absorption ou à adsorption, il est possible de produire de l'eau fraîche à 5–6°C ou du liquide de refroidissement jusqu'à –60°C. Toutefois, la conversion en froid nécessite de l'électricité et des coûts d'investissement relativement élevés. 	Chapitre 4.5 avec exemple pratique

Tableau 10: Liste de contrôle relative à l'utilisation de la chaleur

7. Perspectives futures

L'avenir des installations de biogaz en Suisse dépend de nombreux facteurs. Les principales conditions-cadres sont fixées par la politique. À l'heure actuelle, l'atmosphère est très propice à la production d'énergie renouvelable. La population souhaite que la part des sources d'énergie renouvelable augmente dans la production d'énergie, par rapport à celle des combustibles fossiles. Par le passé, les types de production tels que l'énergie solaire et éolienne ont pris de l'ampleur dans toute l'Europe. Ces deux types de production entraînent des coûts d'acquisition élevés, mais leurs coûts d'exploitation sont relativement faibles. Dans le contexte actuel de faible taux d'intérêt, ils sont bien moins chers par rapport à la production d'énergie issue du biogaz. Toutefois, ils présentent l'inconvénient de ne pas pouvoir stocker de l'énergie. Il est important pour l'avenir des installations de biogaz que cette capacité de stockage et la valeur ajoutée pour l'environnement puissent être communiquées au grand public et récompensées financièrement. Avec la fin du programme de la rétribution de l'injection axée sur les coûts, il y a un besoin d'un modèle de rémunération qui reconnaisse et récompense ces services environnementaux à leur juste valeur.

L'industrie du gaz s'efforce de remplacer une partie du gaz naturel fossile par du biogaz. Cette tendance a été fortement encouragée ces dernières années par l'ajout (produits par défaut) de carburants biogènes. Ainsi, les ventes de biogaz dans le domaine du chauffage de confort pour les particuliers ont très fortement progressé. C'est un marché d'avenir très intéressant pour les producteurs de biogaz. Il se peut que le développement prenne une autre direction et que les producteurs qui n'arrivent pas à trouver de clients appropriés pour la chaleur, convertissent leur production de sorte à produire du biométhane qui serait injecté dans un réseau à distance.

L'utilisation de la chaleur issue des installations de biogaz, qui continuent à produire de l'électricité et de la chaleur, est susceptible d'augmenter à long terme, car le prix de l'énergie va également augmenter à long terme. Ceci est dû à la raréfaction des ressources, mais aussi au fait que les émissions de CO₂ provenant de sources fossiles coûteront plus cher à l'avenir en raison des taxes incitatives. Ces évolutions créeront une pression sur le marché qui sera favorable pour une utilisation raisonnable de l'énergie.

8. Glossaire

Abréviation	Signification
OFEN	Office fédéral de l'énergie, www.bfe.admin.ch
Centrale de cogénération	Utilisation classique de chaleur et d'électricité. Dans le secteur du biogaz, il s'agit généralement d'un moteur à gaz qui entraîne un générateur pour produire de l'électricité. La chaleur dégagée par le moteur à gaz est également utilisée dans la mesure du possible. Voir aussi CCF.
OEnER	Ordonnance sur l'encouragement de la production d'électricité issue d'énergies renouvelables (RS 730.03) ; cette ordonnance régit depuis 2018 le système de rétribution de l'injection
LEne	Loi sur l'énergie, RS 730.0
OEnE	Ordonnance sur l'énergie, RS 730.01 ; cette ordonnance réglementait jusqu'en 2017 le système de rétribution de l'injection axé sur les coûts RPC
SRI	Système de rétribution de l'injection conformément à la loi sur l'énergie (à partir de 2018)
Installations C/I	Installations commerciales et industrielles
GWh	Gigawattheure
RPC	Rétribution de l'injection axée sur les coûts selon la loi sur l'énergie (jusqu'en 2017)
kW	Kilowatt: puissance; la quantité d'énergie (techniquement «travail») résulte de la puissance multipliée par le temps
kWh	Kilowattheure: quantité d'énergie (techniquement «travail») par heure; une puissance de 10 kW appliquée pendant deux heures donne 20 kWh; voir aussi kW
ORC	Organic Rankine Cycle: procédé permettant de faire fonctionner des turbines à vapeur au moyen d'un fluide qui s'évapore à une température inférieure à celle de l'eau. Cela signifie que même la chaleur résiduelle à basse température peut être utilisée pour produire de l'électricité.
Pronovo	Pronovo SA, responsable depuis 2018 de la gestion et du contrôle du système de rétribution de l'injection; elle agit pour le compte et sous la surveillance de l'Office fédéral de l'énergie; www.pronovo.ch

LAT	Loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LAT, RS 700)
OAT	Ordonnance sur l'aménagement du territoire (OAT, RS 700.1)
RS	Recueil systématique du droit fédéral
Pouvoir calorifique inférieur H_u	La quantité maximale de chaleur utilisable lors d'un processus de combustion sans qu'apparaisse une condensation de la vapeur d'eau dans les gaz d'échappement.
VLP-ASPAN	Association suisse pour l'aménagement du territoire; rebaptisée EspaceSuisse à partir du milieu de 2018
CCF	Couplage chaleur-force (cogénération): Utilisation simultanée d'énergie mécanique (puissance, conversion en électricité dans le générateur) et de chaleur à des fins de chauffage ou de production. Voir aussi Centrale de cogénération

Tableau 11: Glossaire

9. Bibliographie:

1. *Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien. Ausgabe 2017. Vorabzug.* Kaufmann, U. Eicher + Pauli AG im Auftrag des Bundesamtes für Energie (2018).
2. *Nachhaltige Wärmenutzung von Biogasanlagen. Ein Handbuch.* Rutz, D., Mergner, R. & Janssen, R. WIP Renewable Energies (2012).
3. *Abwärmenutzung in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Schlussbericht.* Gutzwiller, S. Eicher + Pauli AG im Auftrag für das Bundesamt für Energie (2009).
4. *Schlussbericht Benchmarking Biogas 2016.* Anspach, V. & Bolli, S. Genossenschaft Ökostrom Schweiz (2018).
5. *Bioenergiedörfer. Leitfaden für eine praxisnahe Umsetzung.* Heck, P. et al. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. FNR (2014).
6. *Planungshandbuch Fernwärme.* Nussbaumer, T., Thalmann, S., Jenni, A. & Ködel, J. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie (2017).
7. *Wärmenutzung bei Biogasanlagen.* Zielbauer, J., Gaida, R. & Knott, G. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2007).
8. *Wärmenutzung bei kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen.* Gaderer, M., Lautenbach, M., Fischer, T. & Ebertsch, G. Im Auftrag des Bayerischen Landesamt für Umwelt (2007).
9. *Mobile Wärmespeicher zur Effizienzsteigerung bei Biogasanlagen.* Isele, A. & Bollin, E. Hochschule Offenburg (2013).
10. *Trocknung von Energieholz und Getreide mit Biogas-Wärme. Ein Überblick.* C.A.R.M.E.N. Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk (2015).
11. *Verordnung über die Förderung der Produktion von Elektrizität aus erneuerbaren Energien.* EnFV. Bundesrat. SR 730.03 (2017).