



CLÉS POUR AGIR

CHALEUR ISSUE DE LA MÉTHANISATION DE RÉELLES OPPORTUNITÉS

— GUIDE PRATIQUE



ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie



VOUS ÊTES

- Porteurs de projets et exploitants d'unités de méthanisation à la ferme ou centralisées (collectives et industrielles),
- Exploitants agricoles,
- Conseillers et relais techniques, bureaux d'études, associations professionnelles, chambres d'agriculture,
- Collectivités territoriales.

CE GUIDE EST POUR VOUS

Basé sur des retours d'expérience, ce guide vous informera sur les différentes façons de valoriser la chaleur produite par une installation de méthanisation produisant du biogaz par cogénération. Il vous indiquera les forces et faiblesses de chaque solution de valorisation, ainsi que les opportunités de mise en œuvre en fonction des spécificités des projets de méthanisation agricole ou territoriale.

Présentées sous forme de fiches, ces informations vous aideront à élaborer votre propre projet.

Ce document est édité par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Coordination technique : Julien THUAL - ADEME, Service Mobilisation et Valorisation des Déchets

Rédacteurs GREENBIRDIE : Nathalie CAMUS ; Saliny LY ; Tiphonie PAULY

Comité technique : Frankie ANGEBAULT - ADEME, Direction régionale Poitou-Charentes ; Marc BARDINAL - ADEME, Service Agriculture et Forêt ; Guillaume BASTIDE - ADEME, Service Mobilisation et Valorisation des Déchets ; Adeline HAUMONT - AILE ; Claire INGREMEAU - ATEE Club Biogaz ; Laurent LEJARS - Chambre d'Agriculture du Loiret ; Léa MOLINIE - Ministère de l'Agriculture ; Jean-Marc ONNO - Association des Agriculteurs Méthaniseurs de France ; Marc SCHLIENGER - ATEE Club Biogaz ; Florent THOUMINOT - Agrikomp ; Nathalie VIARD - Consultante.

Suivi d'édition : Agnès HEYBERGER-PAROISSE - ADEME, Service Communication Professionnelle et Technique

Création graphique : GREENBIRDIE

Brochure réf. 8840

ISBN : 979-10-927-0468-0 - Mai 2016

Dépôt légal : ©ADEME Éditions, mai 2016

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (Art L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (Art L 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

SOMMAIRE

Utilisation de la chaleur en méthanisation	5
Traitement des déchets organiques et production d'énergie verte.....	5
Valorisation de la chaleur.....	6
Performance énergétique	8
Optimisation thermique.....	8
Optimisation électrique.....	9
Suivi de l'unité de méthanisation.....	10
Biogaz valorisé par cogénération	13
Aspects techniques.....	13
Aspects économiques.....	13
Aspects environnementaux.....	14
Points de vigilance (retours d'expérience).....	14
Usages de la chaleur	16
Quels usages de la chaleur sont adaptés à ma puissance installée ?.....	17
Comment coupler différents usages de la chaleur tout au long de l'année ?.....	18
Fiche Chauffage des élevages	19
Fiche Chauffage des habitations	22
Fiche Alimentation d'un site industriel	23
Fiche Hygiénisation	24
Fiche Prestations spécifiques	25
Fiche Chauffage des serres	26
Fiche Culture de microalgues	28
Fiche ORC (cycle organique de Rankine)	29
Fiche Trigénération	30
Fiche Séchage de foin	31
Fiche Séchage de bois énergie	33
Fiche Séchage du digestat	34
Fiche Séchage multi-produits	35
Sigles et Glossaire	36

LA CHALEUR EN MÉTHANISATION EN BREF

237 unités de méthanisation à la ferme

45 MWe de puissance installée totale

1,05 million de tonnes de substrats entrants

142 GWh de chaleur valorisée

(soit la consommation énergétique d'environ 7 000 maisons de 100 m²)

31 unités de méthanisation centralisées

37 MWe de puissance installée totale

1,07 million de tonnes de substrats entrants

220 GWh de chaleur valorisée

(soit la consommation énergétique d'environ 10 500 maisons de 100 m²)



UTILISATION DE LA CHALEUR EN MÉTHANISATION

TRAITEMENT DES DÉCHETS ORGANIQUES ET PRODUCTION D'ÉNERGIE VERTE

La méthanisation consiste en la dégradation de déchets organiques fermentescibles par des bactéries dans un milieu dépourvu d'oxygène. Les déchets organiques les plus fréquents sont issus des activités agricoles, agroalimentaires et industrielles : boues de station d'épuration, biodéchets, effluents d'élevage, résidus de cultures, etc.

Ce mécanisme biologique permet de fabriquer deux produits : le biogaz, gaz riche en méthane, et un digestat pouvant être utilisé comme fertilisant et amendement pour les cultures.

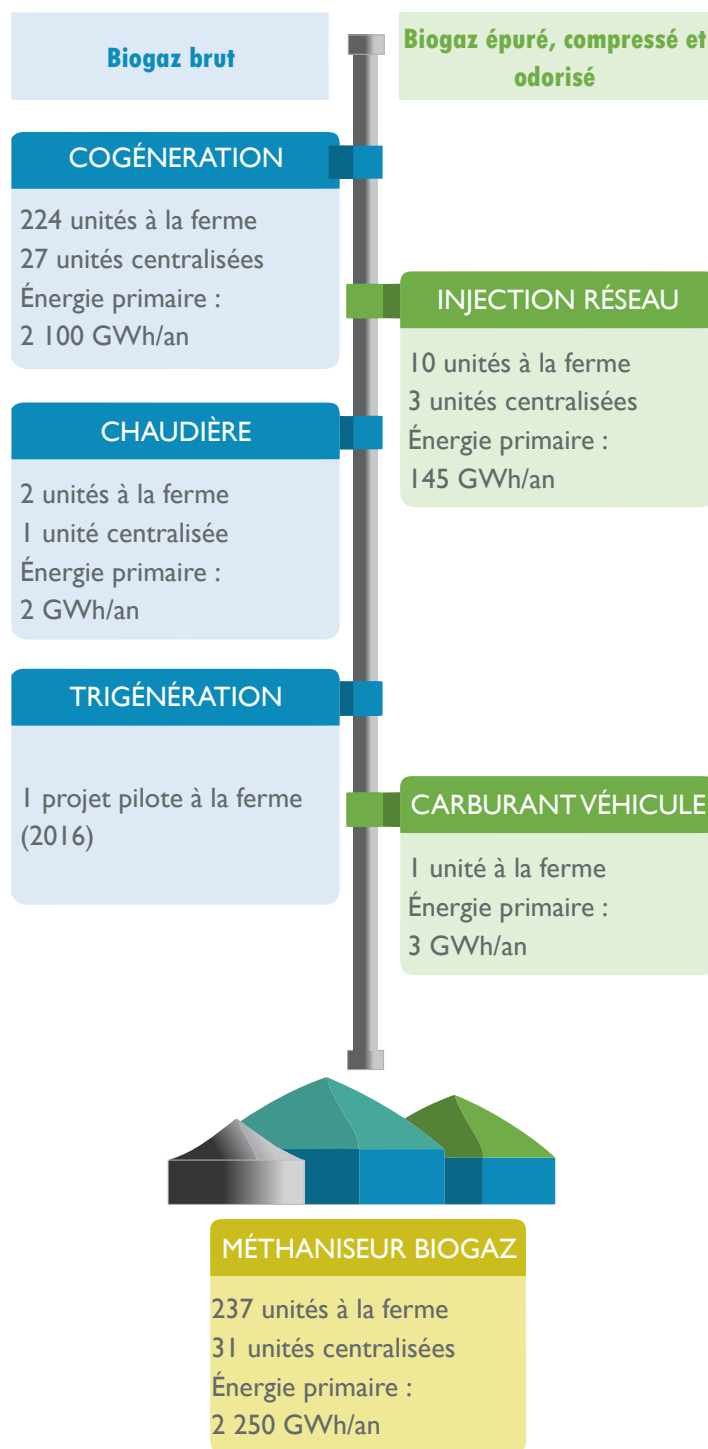
En complément de la diminution de la masse de déchets entrants et de la production d'énergie verte, la méthanisation présente de nombreux intérêts aux niveaux économique (revenus complémentaires, autonomie en chaleur, etc.), environnemental (réduction des gaz à effet de serre) et agronomique (fertilisant organique plus adapté à la culture que les déchets organiques bruts).

“La méthanisation est une vraie opportunité de diversification dans le monde agricole ,”

B. CALLE, Exploitant agricole, GAEC Des Moulins de Kerollet

Le biogaz peut être valorisé suivant différentes voies :

- **Cogénération** : production d'électricité et de chaleur,
- **Chaudières biogaz** : production d'énergie thermique,
- Injection de biométhane dans le **réseau de gaz naturel** après épuration, compression et odorisation du biogaz,
- Utilisation en tant que **carburant** véhicule après épuration du biogaz,
- **Trigénération** : production couplée d'énergie électrique, de chaleur et de froid.



Répartition des unités de méthanisation à la ferme et centralisées en fonctionnement par type de valorisation énergétique (données ADEME 2016)

VALORISATION DE LA CHALEUR

Le biogaz est actuellement majoritairement valorisé par cogénération (251 unités sur un total de 269 unités, soit 93 % des unités).

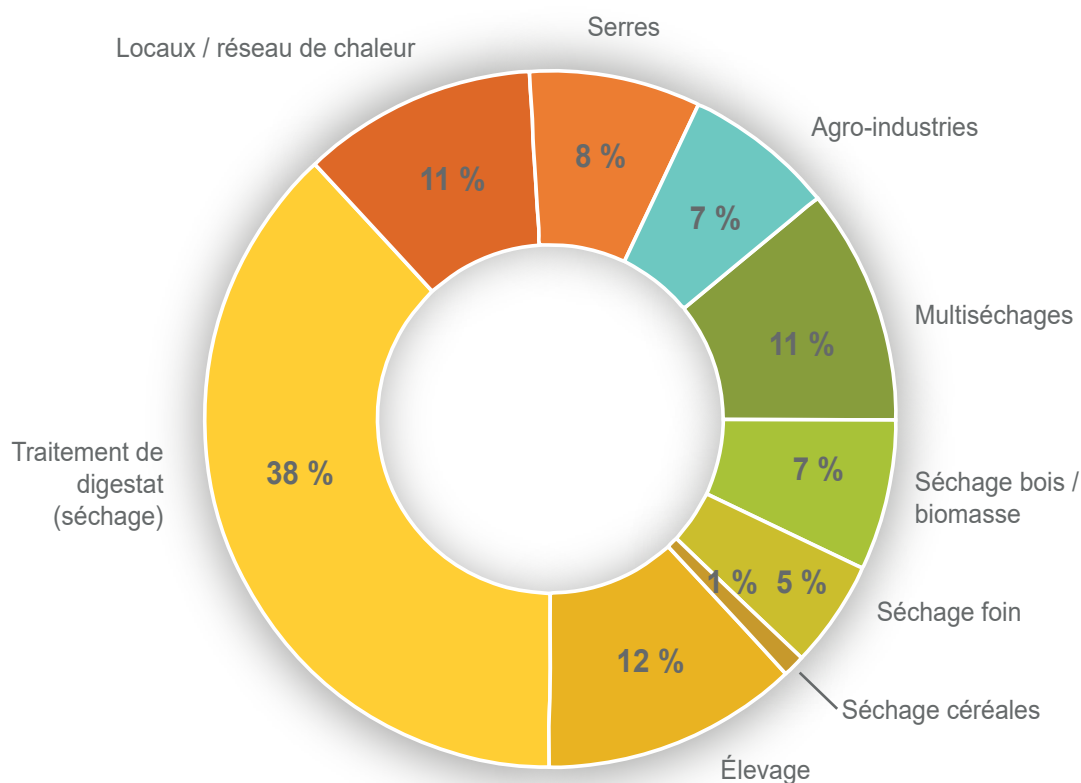
La production d'électricité à partir du biogaz bénéficie d'un mécanisme de soutien via les tarifs d'achat depuis 2006 (modifiés en 2011, 2013 et 2015). Le tarif d'achat est composé d'un tarif de base auquel s'ajoute une prime pour le traitement d'effluents d'élevage. La prime à l'efficacité énergétique, qui incitait à une valorisation de la chaleur, a été supprimée depuis l'arrêté du 30 octobre 2015. De nouveaux tarifs seront appliqués en 2016. Cependant, les critères d'attribution des subventions de l'ADEME pourront être liés à l'efficacité énergétique. Si la chaleur produite par cogénération n'est pas valorisée, l'efficacité énergétique globale de l'installation est limitée et pénalise ainsi l'intérêt environnemental de l'unité de méthanisation.

L'ADEME a réalisé un état des lieux des projets biogaz en 2013. La chaleur est utilisée à 70 % pour les nouveaux

usages et à seulement 30 % en substitution des énergies fossiles. Le séchage de biomasse et le traitement du digestat sont les principales voies de valorisation en terme de quantité de chaleur valorisée. L'utilisation très fréquente de la chaleur pour le chauffage de locaux ne représente qu'une faible part de la chaleur produite.

La valorisation de la chaleur augmente l'efficacité énergétique de l'installation de méthanisation.

L'utilisation de la chaleur produite par cogénération doit être réfléchi de manière globale. Elle intègre les besoins thermiques de l'exploitation agricole et plus largement ceux du territoire en termes de constance, de durabilité, d'évolution et d'impact économique. La pertinence environnementale doit être élargie en cherchant à optimiser la performance énergétique des installations consommatrices de chaleur et à se substituer à une énergie fossile.



Répartition de l'énergie thermique valorisée du parc d'unités de méthanisation à la ferme en projet
(% de l'énergie thermique totale valorisée) (données ADEME 2013)

LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE EN BREF

38 °C

Température optimale moyenne pour une
méthanisation mésophile

8 - 15 %

Part de l'énergie primaire produite par
l'unité de méthanisation nécessaire au
chauffage du digesteur

PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE

Dans un contexte de raréfaction des énergies fossiles, d'augmentation des coûts de l'énergie électrique et de développement des énergies renouvelables, la consommation énergétique d'un procédé de production d'énergie est un poste important à ne pas négliger lors de la conception. En effet, elle conditionnera le rendement énergétique global de l'installation et ainsi les revenus et la rentabilité économique de ce procédé.

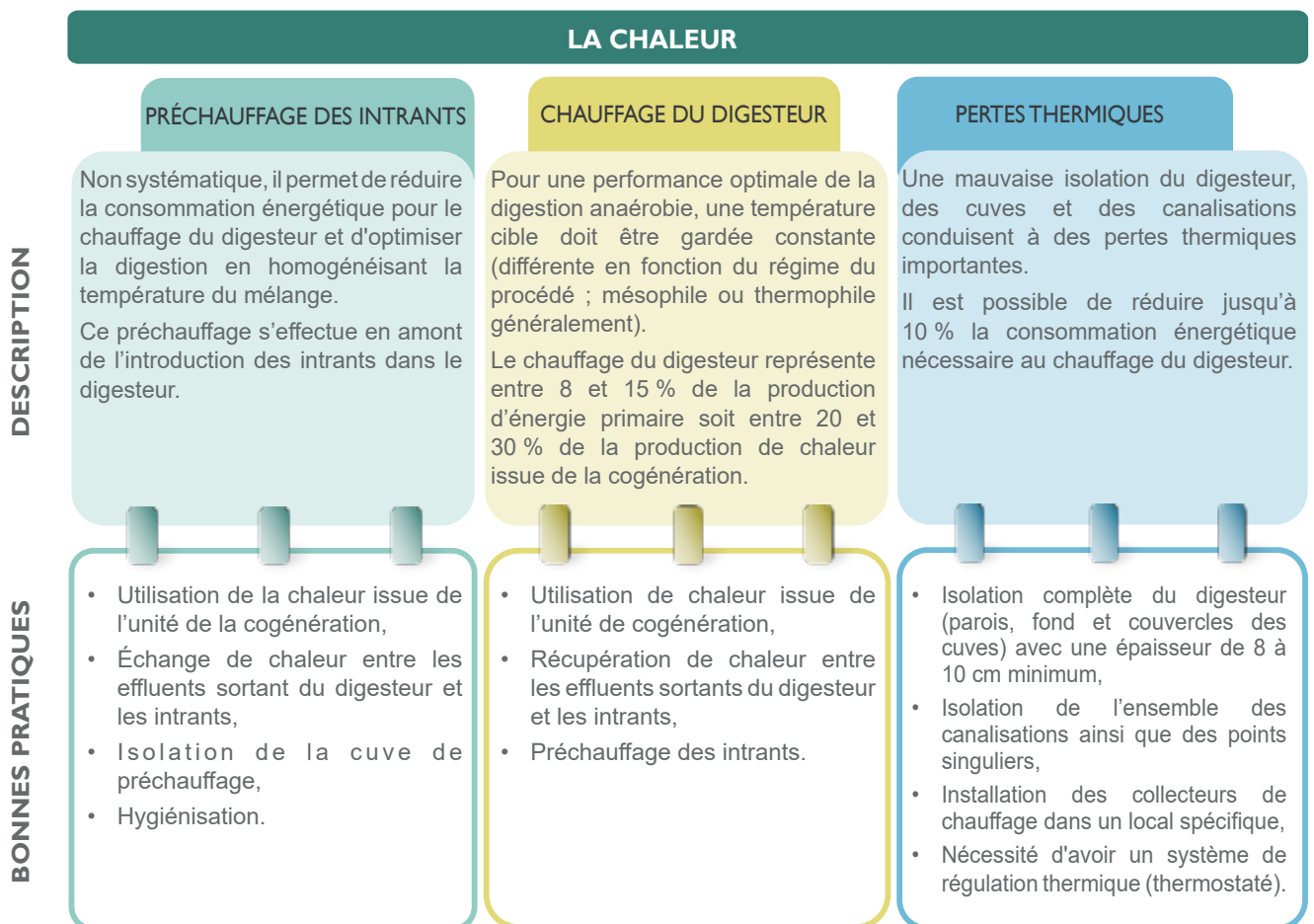
Cette partie du guide a pour objectif de présenter brièvement les principaux postes de consommations énergétiques d'une unité de méthanisation ainsi que les bonnes pratiques permettant d'optimiser l'efficacité énergétique de l'installation.

► Pour en savoir plus : *Guide pour l'optimisation de l'efficacité énergétique des installations biogaz, ATEE Club Biogaz 2012.*

OPTIMISATION THERMIQUE

Hormis les procédés pour valoriser la chaleur issue de cogénération, les trois principaux postes de consommations thermiques sur une unité de méthanisation sont :

- Le préchauffage des intrants (si concerné),
- Le chauffage du digesteur,
- Les pertes thermiques au niveau du digesteur, des installations de stockage et des canalisations.



Bonnes pratiques pour une optimisation thermique de l'unité de méthanisation

Le type de fermentation est défini par le régime de température appliqué dans le digesteur ; le mésophile étant le plus courant.



Températures moyennes appliquées dans le digesteur pour la méthanisation

OPTIMISATION ÉLECTRIQUE

Les principaux postes consommateurs d'électricité sur une unité de méthanisation (hors procédés pour la valorisation de la chaleur) sont la préparation des intrants et l'agitation du digesteur.

D'une manière générale, la consommation électrique augmente avec le taux de matière sèche des intrants. La viscosité des intrants, souvent négligée, influe de manière importante sur la consommation électrique.

L'ÉLECTRICITÉ	
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 30%; text-align: center;"> <p>GESTION DES INTRANTS</p> </div> <div style="width: 30%; text-align: center;"> <p>PRÉTRAITEMENT</p> </div> <div style="width: 30%; text-align: center;"> <p>AGITATION DANS LE DIGESTEUR</p> </div> </div>
DESCRIPTION	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <p>La diversité des intrants multiplie les pompes et les agitateurs dans les différentes cuves de stockage.</p> <p>Par ailleurs, ces procédés de mélange et de transfert peuvent être une source de consommation d'électricité non négligeable.</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>Le prétraitement des intrants n'est pas systématique mais est parfois conseillé car il apporte de nombreux avantages : homogénéisation des intrants, accessibilité des molécules dégradables, augmentation de la production de biogaz, diminution de la consommation énergétique pour l'agitation du digesteur et réduction des indésirables (cailloux, ficelles, etc.) avant introduction dans le digesteur.</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>Le brassage dans le digesteur permet d'éviter la formation de croûte et de couches sédimentaires, d'homogénéiser la température et de répartir le substrat de manière optimale. Ce brassage optimise la digestion anaérobie augmentant ainsi la production de biogaz.</p> <p>Il est possible de coupler plusieurs systèmes d'agitation.</p> </div> </div>
BONNES PRATIQUES	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <ul style="list-style-type: none"> • Choix des pompes et agitateurs avec de bonnes performances énergétiques (paramètres variableur de vitesse, optimisation technologique, etc.), • Nécessite une maintenance et un entretien réguliers, • Regroupement des cuves de stockage en fonction de la nature des intrants. </div> <div style="width: 30%;"> <ul style="list-style-type: none"> • Prémélange des intrants, • Traitement de la matière pour augmenter sa dégradabilité dans le cycle de production, • Ajouts d'additifs : utilisation d'agents biologiques, etc. </div> <div style="width: 30%;"> <ul style="list-style-type: none"> • Choix d'un système d'agitation adapté au type de digesteur, aux intrants et aux contraintes d'exploitation, • Gestion du temps de brassage, • Emplacement des agitateurs, • Maintenance et entretien réguliers. </div> </div>

Bonnes pratiques pour une optimisation électrique de l'unité de méthanisation

INVESTISSEZ DANS LE SYSTÈME DE SUIVI

Le suivi du digesteur ne doit pas être perçu comme une contrainte mais comme un moyen de garantir et d'optimiser le fonctionnement d'une unité de méthanisation.

“Le système de suivi de l'installation de méthanisation n'est pas un poste à économiser. Un système qui enregistre les données et qui les analyse afin d'avoir un retour d'expérience sur son installation est le seul moyen de bien comprendre et maîtriser sa technologie. „

Mathieu BREANT,
Directeur du bureau d'études,
Naskéo Environnement.

PARAMÈTRES ESSENTIELS À SUIVRE

Les paramètres généralement suivis sur une unité de méthanisation sont : quantité et composition des intrants, pH, température, débit et composition du biogaz, teneur en matière sèche (MS). Ils ne sont pas nécessairement suffisants pour détecter un dysfonctionnement sur l'unité de méthanisation.

“L'entretien d'une unité de méthanisation est primordial afin de conserver à long terme des performances de production élevées. „

Florent THOUMINOT,
Responsable bureau d'études,
Agrikomp

SUIVI DE L'UNITÉ DE MÉTHANISATION

La mise en place du suivi d'une unité de méthanisation est nécessaire pour :

- Contrôler son bon fonctionnement,
- Améliorer sa performance énergétique,
- Répondre aux exigences réglementaires,
- Éviter tout dysfonctionnement engendrant des surcoûts d'entretien et des pertes de revenus par diminution de la production de biogaz.

Le dysfonctionnement d'une unité de méthanisation peut engendrer une baisse de la production de biogaz voire un arrêt total avec la mise en indisponibilité du digesteur. Ceci peut entraîner des coûts d'entretien et une perte de revenus sur plusieurs mois.

Plusieurs signes permettent d'anticiper un problème et d'y remédier en amont :

- **La production de biogaz diminue** : par exemple, le temps de rétention appliqué est insuffisant ce qui ne permet pas aux micro-organismes de se multiplier correctement. La concentration engendre une réduction de la production en biogaz. Ceci peut également provoquer une accumulation d'acides gras volatiles (AGV) dans le digesteur, on parle alors de surcharge hydraulique.
- **La concentration en CH₄ diminue** : quand la matière organique (MO) apportée au digesteur excède la capacité de dégradation des micro-organismes, la MO n'est pas totalement dégradée et les AGV s'accumulent (la concentration de CH₄ diminue dans le digesteur). Ceci peut aboutir à une acidification du digesteur et à une diminution de la production de biogaz, on parle alors de surcharge organique.
- **De la mousse se forme** à la surface du digesteur.

“La méthanisation est un vrai métier : un bon éleveur, ce sera un bon agriméthaniseur „

B. CALLE, Exploitant agricole, GAEC Des Moulins de Kerollet

L'analyse de certains paramètres de fonctionnement de l'unité de méthanisation permet d'anticiper les dysfonctionnements. Les paramètres de suivi peuvent être :

- **Liés aux intrants de l'unité de méthanisation** : quantité de substrats (liquides et solides), composition biochimique des substrats (teneur en MS, teneur en MO pour les intrants solides ou DCO pour les intrants liquides, teneur en azote total et ammoniacal), innocuité des substrats (présence d'inertes ou impuretés, traces métalliques, etc.), potentiel méthanogène.

- **Liés au milieu de fermentation dans le digesteur** : température, pH, alcalinité, teneur en AGV, rapport AGV/TAC (ratio AGV/alcalinité), teneur en matière sèche résiduelle, teneurs en NH_3 et NH_4^+ , conductivité électrique, éléments traces.
- **Liés à la production du biogaz** : débit de biogaz, température du biogaz, composition du biogaz (teneurs en CO_2 , CH_4 , H_2S et H_2).

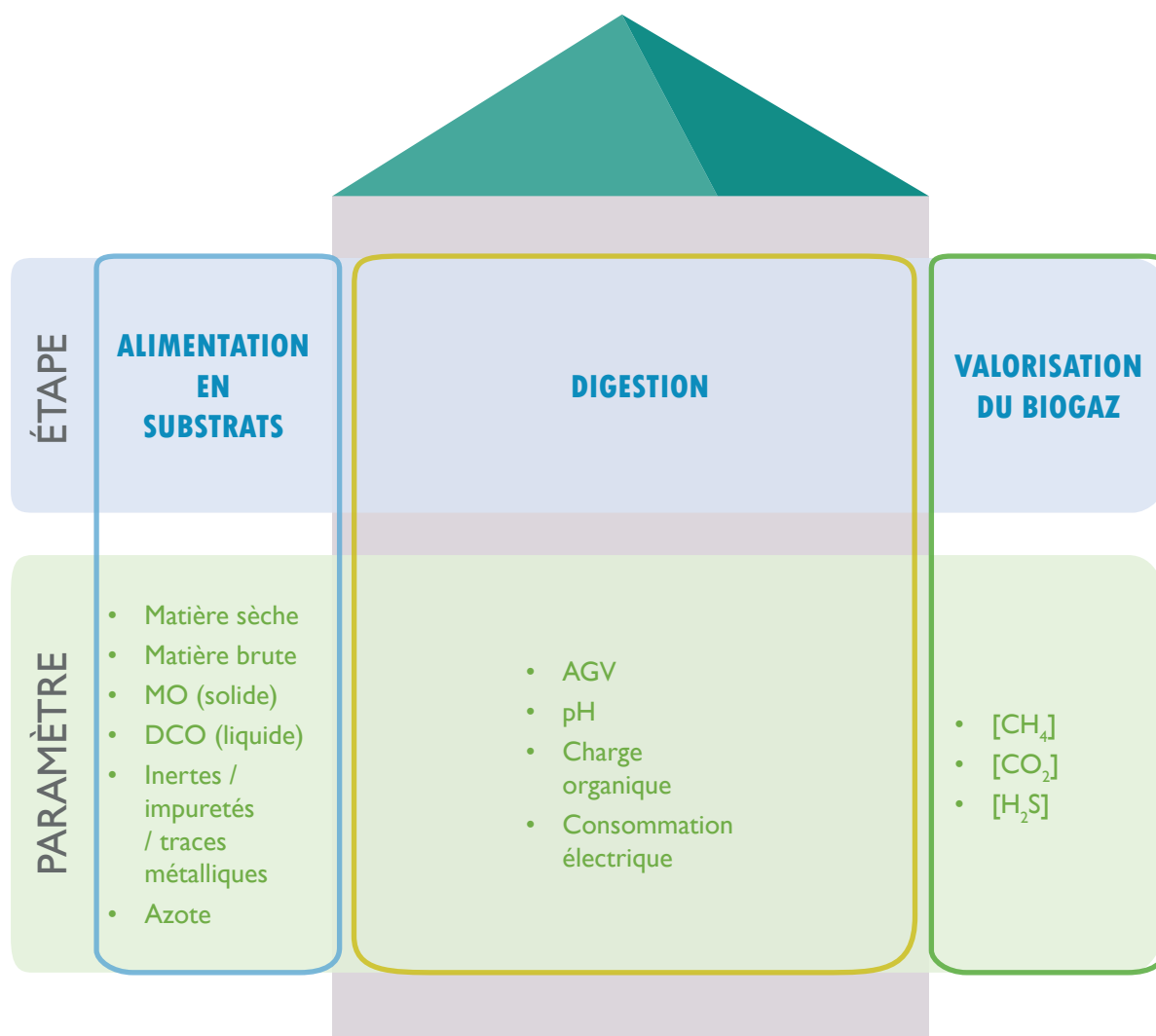
► Pour en savoir plus :

Guide méthodologie pour le suivi et l'établissement des bilans de performances d'une installation de méthanisation, ADEME 2014.

Guide de suivi de la biologie sur une unité de méthanisation agricole, AILE 2011.

Guide pédagogique - La biologie des digesteurs à destination des exploitants d'unités de méthanisation, ADEME 2014.

La figure ci-dessous met en évidence l'influence des différents paramètres sur le fonctionnement de l'unité de méthanisation.



Influence de plusieurs paramètres sur le fonctionnement d'un digesteur

LA COGÉNÉRATION EN BREF

32 à 38 %

Rendement électrique d'un cogénérateur fonctionnant au biogaz

40 à 50 %

Rendement thermique d'un cogénérateur fonctionnant au biogaz

40 000 à 60 000 h

Durée de vie moyenne d'un moteur en cogénération

BIOGAZ VALORISÉ PAR COGÉNÉRATION

Dans les unités de méthanisation à la ferme et centralisées, la quasi-totalité du biogaz produit est valorisée par cogénération dans un moteur biogaz. Ce procédé permet la production simultanée d'électricité et de chaleur.

ASPECTS TECHNIQUES

Différentes technologies peuvent être utilisées pour la valorisation du biogaz :

- Moteurs biogaz (majorité des cas),
- Moteurs dual fuel (biogaz + gaz naturel ou biogaz + fuel),
- Turbines et microturbines biogaz.

	MOTEURS BIOGAZ	MOTEUR DUAL FUEL	MICRO-TURBINES	TURBINES A GAZ
Gamme de puissance	30 - 3 600 kW _e	20 - 500 kW _e	30 - 250 kW _e	1 - 300 MW _e
Rendement électrique	30 - 45 %	30 - 45 %	26 - 33 %	30 - 38 %
Rendement thermique	40 - 50 %	35 - 45 %	45 - 55 %	40 - 50 %
Charge minimale	50 %	50 %	35 %	35 %
Influence de la variation de [CH ₄]	Sensible	Moyennement sensible	Peu sensible	Peu sensible
Maintenance	Accrue	Accrue	Réduite	Réduite
Consommation d'huile	Oui	Oui	Non	Oui
Consommation des auxiliaires	2 - 5 %	2 - 5 %	15 %	15 %
Utilisation sur les sites de méthanisation	Élevée	Faible	Inexistante	Inexistante (peu adaptées aux puissances actuelles)

Comparaison des différentes technologies de cogénération

ASPECTS ÉCONOMIQUES

	INVESTISSEMENTS	COÛTS D'EXPLOITATION
Moteurs biogaz	700 - 2 000 €/kW _e	10 - 25 €/MWh
Moteurs dual fuel	700 - 2 000 €/kW _e	7 - 20 €/MWh
Microturbines	700 - 3 000 €/kW _e	10 - 15 €/MWh
Turbines à gaz	400 - 900 €/kW _e	5 - 10 €/MWh

Investissements et coûts d'exploitation des technologies de cogénération (données fournisseurs)

“ Lors des dimensionnements, les constructeurs de systèmes de cogénération ne sont pas systématiquement consultés et le dimensionnement se fait par rapport à la puissance nominale. Ce dimensionnement peut être faux car le moteur peut fonctionner à charge partielle et donc avoir un rendement électrique inférieur et donc moins de production. ”

Jérôme CHARMANT,
Ingénieur commercial biogaz,
Clarke Energy

MOTEUR DUAL FUEL

Les moteurs dual fuel permettent de brûler conjointement du biogaz et un autre combustible (gaz naturel ou fuel). Cependant, la proportion de combustible fossile ne doit pas dépasser 20 % de la quantité d'énergie électrique produite par l'installation en moyenne annuelle.

[Arrêté du 2 octobre 2001 fixant les limites dans lesquelles certaines installations utilisant, à titre principal, certaines énergies renouvelables ou des déchets peuvent utiliser une fraction d'énergie non renouvelable]

DES RENDEMENTS SURESTIMÉS

Le rendement électrique sur un projet de méthanisation annoncé par les constructeurs ou bureaux d'études est généralement le rendement obtenu dans des conditions normées de température, de pression, de charge ainsi que de teneur en CH_4 . Le dimensionnement est ainsi effectué pour la valorisation de la totalité du biogaz à puissance nominale. Cependant, la production de biogaz n'étant pas constante toute l'année, le procédé de cogénération pour un projet de méthanisation pourra fonctionner en charge partielle et impactera le rendement annoncé.

Le dimensionnement d'un procédé de cogénération doit donc prendre en compte les fluctuations de la production de biogaz et les corrélérer avec les courbes de rendement de la technologie de cogénération adaptée ; ceci afin d'optimiser la production d'énergie et donc la rentabilité économique de l'unité de méthanisation.

Ce dimensionnement peut être effectué directement en collaboration avec le motoriste.

CONSOMMATIONS AUXILIAIRES

Le tarif d'achat appliqué à l'électricité vendue exclut la consommation des auxiliaires (sauf le compresseur, le groupe froid, l'armoire électrique et la résistance).

Les investissements au kWe diminuent généralement avec la puissance installée. Les équipements périphériques de la cogénération tels que le séparateur de condensats, les compresseurs, les aérothermes, les baies d'analyse, etc., sont également à ajouter aux investissements et peuvent représenter en moyenne 20 % du coût du procédé.

► *Pour en savoir plus :*

Techniques de production d'électricité à partir de biogaz et de gaz de synthèse, SOLAGRO 2009.

Guide pour l'optimisation de l'efficacité énergétique des installations biogaz, ATEE Club Biogaz 2012.

ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX

Les normes sur les émissions des moteurs sont de plus en plus exigeantes. L'installation de procédés de cogénération est soumise à la réglementation relative aux installations de combustion : rubrique 2910 - C de la nomenclature ICPE. Cette rubrique impose des valeurs limites d'émissions de gaz selon l'arrêté du 8 décembre 2011 (lorsque l'installation consomme exclusivement du biogaz provenant d'installation classée sous la rubrique 2781-I (relative à la méthanisation de déchets non dangereux) et si la puissance thermique nominale de l'installation est supérieure à 0,1 MW). Les valeurs limites d'émissions dépendent du régime défini en fonction de la puissance de l'installation et des intrants de l'unité de méthanisation (autorisation, enregistrement, déclaration).

► *Pour en savoir plus : AIDA – INERIS.*

POINTS DE VIGILANCE (RETOURS D'EXPÉRIENCE)

Pour que la technologie de cogénération corresponde au projet de méthanisation, le dimensionnement du moteur peut être validé par un motoriste à travers la revue de plusieurs critères, tels que :

- Variations de production de biogaz,
- Teneur en CH_4 ,
- Température extérieure,
- Altitude.

Ceci permettra également de valider l'hypothèse sur le rendement réel de cogénération et sur la production de chaleur et d'électricité.

Les intégrateurs de technologies de cogénération permettent d'augmenter le rendement de cogénération mais ne donnent pas accès à la garantie fournisseur. Il est préférable de conserver cette garantie afin de pallier toute casse ou usure prématurée.

Un traitement fin du biogaz est privilégié en vue de garantir les performances et la durabilité de la technologie de cogénération.

Une maintenance préventive ou curative est conseillée afin de se prémunir de la casse ou une usure prématurée. Par ailleurs, le choix d'un acteur situé à proximité ou en France est conseillé pour la réactivité d'intervention, les coûts de maintenance et une communication facilitée.

LES USAGES DE LA CHALEUR EN BREF

70 % des unités de méthanisation à la ferme procèdent au chauffage des bâtis (habitation et/ou bâti d'élevage) pour valoriser tout ou une partie de la chaleur

11 % de l'énergie thermique valorisée est utilisée pour le chauffage des habitations et via les réseaux de chaleur

62 % de l'énergie thermique valorisée est utilisée pour les activités de séchage

USAGES DE LA CHALEUR

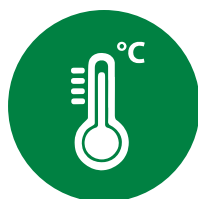
Malgré la suppression de la prime à l'efficacité énergétique dans les nouveaux tarifs d'achats 2016, la valorisation de la chaleur issue de cogénération fait partie intégrante d'un projet bien pensé, intégré à son territoire, performant énergétiquement et économiquement.

Une réflexion lors de la faisabilité du projet de méthanisation est donc vivement recommandée afin de valoriser au mieux cette énergie. Cette partie du guide présente l'éventail des voies de valorisation de la chaleur issue de méthanisation à travers 13 fiches synthétiques.

“ Il faut rester cohérent avec les problématiques locales : protéines pour élevage, qualité du bois pour les chaudières ,”

B. CALLE, Exploitant agricole, GAEC Des Moulins de Kerollet

► Pour en savoir plus : Arrêté du 30 octobre 2015 modifiant l'arrêté du 19 mai 2011 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations qui valorisent le biogaz.



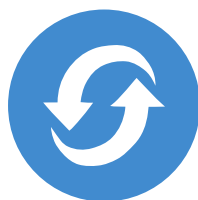
CHAUFFAGE DES ÉLEVAGES
CHAUFFAGE DES HABITATIONS VOISINES
ALIMENTATION D'UN SITE INDUSTRIEL
HYGIÉNISATION
PRESTATIONS SPÉCIFIQUES



CHAUFFAGE DES SERRES
CULTURE DE MICROALGUES



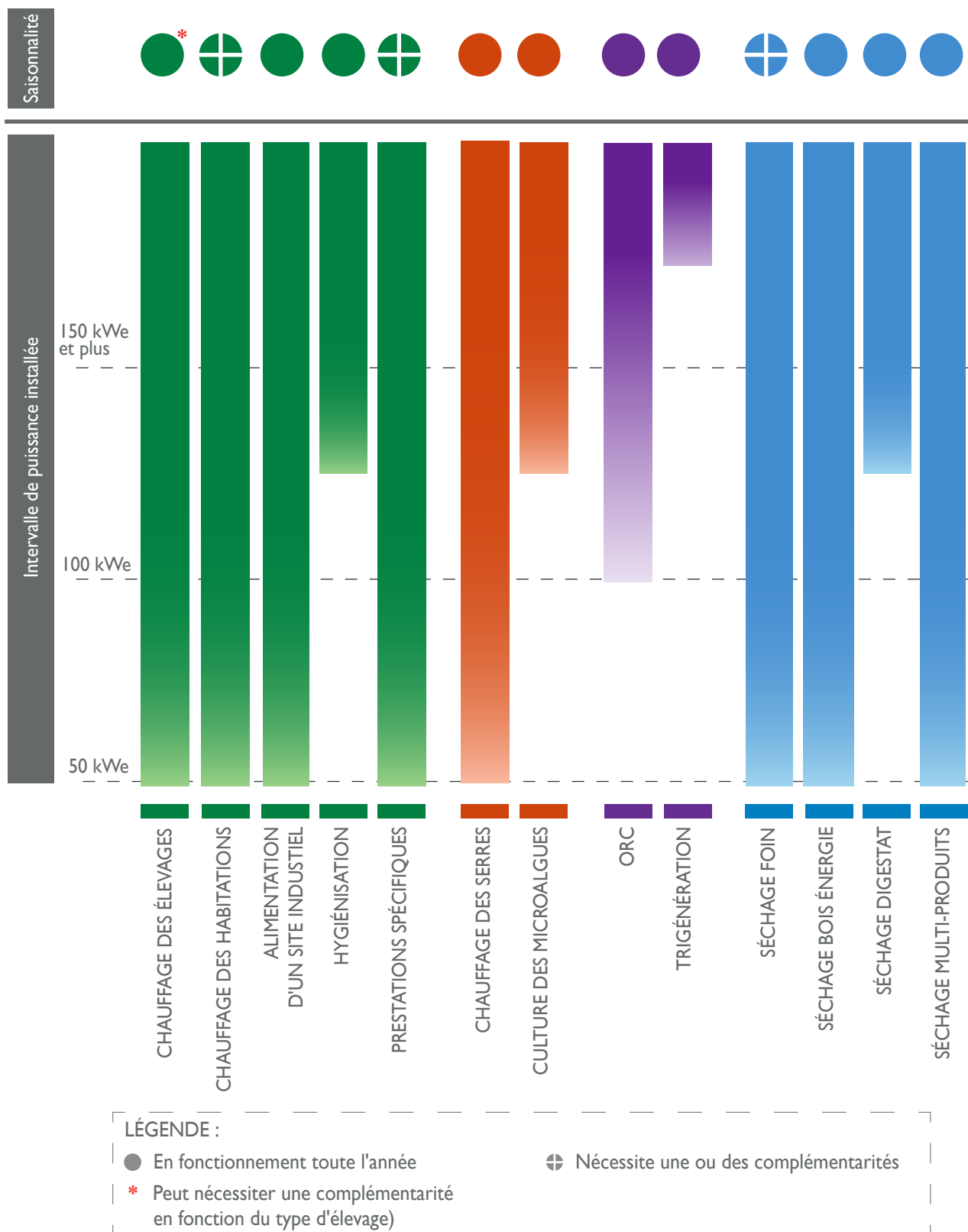
ORC
TRIGÉNÉRATION



SÉCHAGE DE FOIN
SÉCHAGE DE BOIS ÉNERGIE
SÉCHAGE DU DIGESTAT
SÉCHAGE MULTI-PRODUITS

QUELS USAGES DE LA CHALEUR SONT ADAPTÉS À MA PUISSANCE INSTALLÉE ?

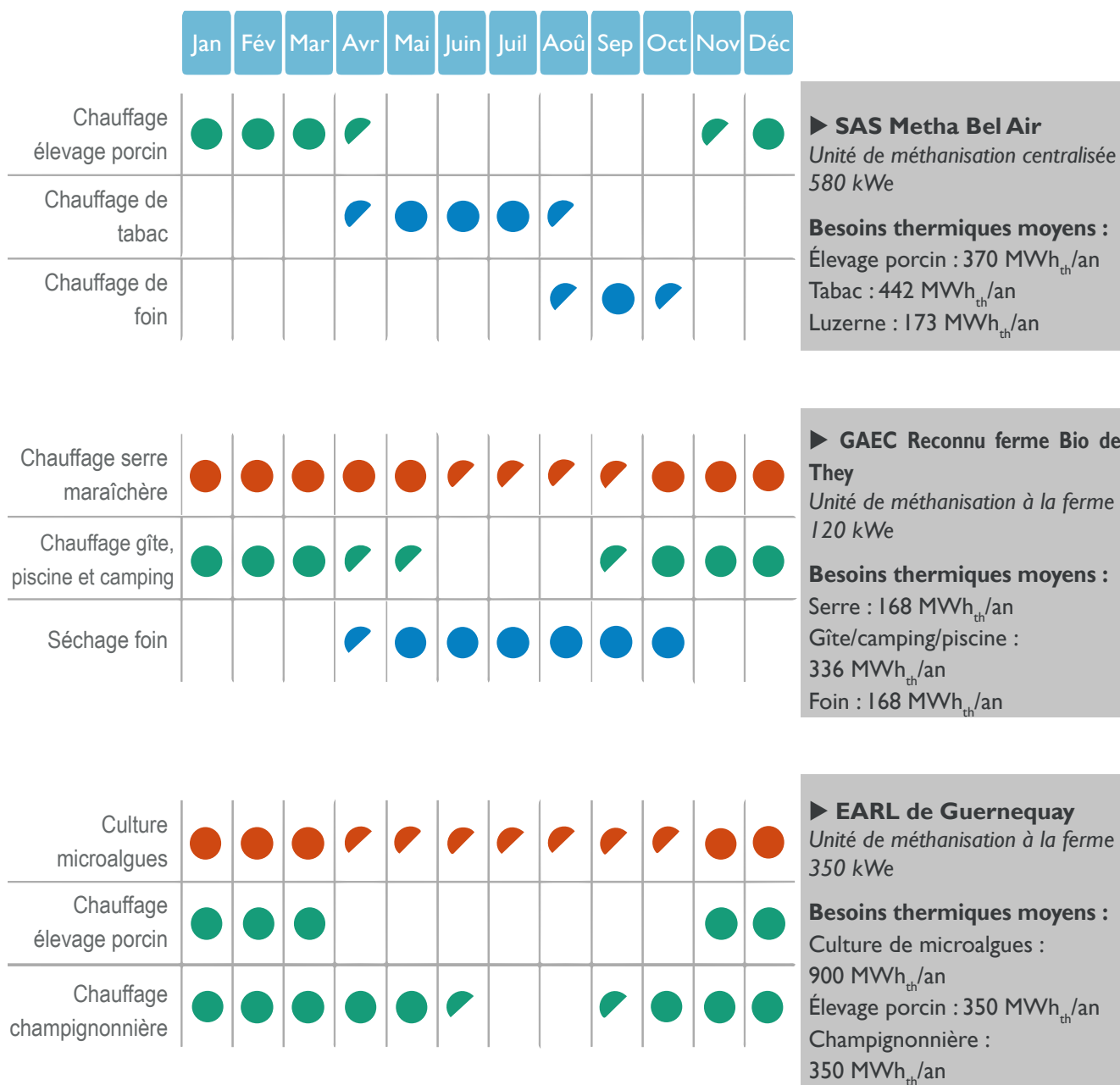
La figure ci-dessous présente les intérêts des différents usages de chaleur en fonction de la puissance installée de l'unité de méthanisation et de la nécessité d'une complémentarité avec un autre usage.



Intérêts des voies de valorisation de la chaleur selon plusieurs critères

COMMENT COUPLER DIFFÉRENTS USAGES DE LA CHALEUR TOUT AU LONG DE L'ANNÉE ?

La chaleur issue de la méthanisation doit être valorisée en optimisant son utilisation sur l'ensemble de l'année. Pour cela, il est possible de combiner différents usages. C'est le cas pour ces quelques exemples d'unités de méthanisation ; à la ferme et centralisées.



LÉGENDE :

● Usage complet sur toute la période

◐ Usage partiel sur la période

Tableau de la saisonnalité d'utilisation de la chaleur à travers des cas réels



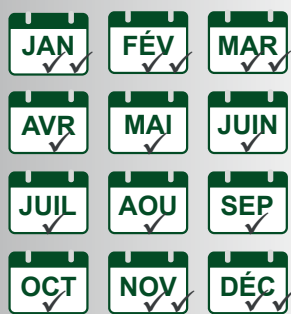
CHAUFFAGE DES ÉLEVAGES

Les élevages peuvent être une source de consommation d'énergie importante notamment pour le chauffage des bâtiments et de l'eau chaude. Ils représentent une charge non négligeable pour l'exploitation agricole.

La question énergétique dans les élevages a fortement été étudiée en 2005 avec la mise à disposition de référentiels sur les consommations énergétiques dans les bâtiments d'élevage en fonction de la filière (porcine, avicole ou bovine), du stade physiologique et du type de bâtiment.

L'utilisation de sources renouvelables telles que la méthanisation en remplacement ou en complément des énergies fossiles est l'une des solutions de réduction de consommation de ces énergies. Par ailleurs, elle permet de bénéficier d'une chaleur gratuite, tout en conservant le bien-être des animaux. Les bâtiments peuvent alors être chauffés aisément en fonction des besoins. Néanmoins, il est important de mentionner que ce type de chauffage doit être envisagé dans une cohérence globale de performance énergétique des bâtiments.

SAISONNALITÉ



✓ Usage partiel ✓✓ Usage total

+ ASPECTS POSITIFS

- + Réduction de la consommation d'énergies fossiles
- + Traitement des effluents
- + Assainissement des espaces (chauffage moins restreint et propreté des animaux)

! POINTS DE VIGILANCE

- ◆ Pas adaptable à tous les élevages
- ◆ Investissements pouvant être conséquents
- ◆ Adéquation entre la puissance disponible et les besoins à considérer
- ◆ Besoin de solution de secours si panne

ZOOM SUR LES BESOINS THERMIQUES

Pour les filières porcines et avicoles, les besoins énergétiques vont fortement varier en fonction de 3 paramètres :

- Déperditions à travers les parois du bâtiment notamment la toiture. L'isolation du bâtiment est primordiale et permet de réduire de 50 % la consommation énergétique,
- Déperditions dues au renouvellement d'air dans les bâtiments : un optimum est à trouver entre le débit de ventilation et le chauffage nécessaire tout en conservant le bien-être des animaux,
- Apports de chaleur par les animaux.

Les bonnes pratiques pour diminuer les consommations énergétiques sont :

- Régulation,
- Isolation des bâtiments,
- Entretien des équipements,
- Récupération d'énergie,
- Coordination du couple chauffage/ventilation (si concerné),
- Équipements pour le chauffage.

CHIFFRES CLÉS

46 - 80 % en moyenne de consommation énergétique totale pour le chauffage d'un élevage (en fonction de la filière)

1 - 3 % ratio de l'énergie sur les charges totales d'un élevage (en fonction de la filière)

120 kWh_{th}/m²/an d'énergie consommée pour l'élevage de volaille en moyenne

250 kWh_{th}/m²/an d'énergie consommée pour la partie maternité et post-sevrage d'un élevage porcine de 285 truies

70 % de la consommation énergétique de chauffage de l'eau pour l'élevage de veaux

POUR PLUS D'INFORMATIONS

- ▶ *Utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments d'élevage – situation technico-économique en 2005 et leviers d'action actuels et futurs, ADEME 2007.*
- ▶ *Le Bâtiment d'Élevage à Basse Consommation d'énergie (BEBC), IFIP 2012.*



“ Lors de la construction ou de la rénovation d'un bâtiment d'élevage, il est nécessaire d'anticiper sur la possible mise en place d'énergies renouvelables dans le futur telle que la méthanisation. „

EARL De Guernequay, 350 kW_e, chauffage de l'exploitation

- 150 k€ pour le chauffage des élevages
- 6 900 porcs charcutiers produits par an
- 10 % de chaleur valorisée dans l'élevage

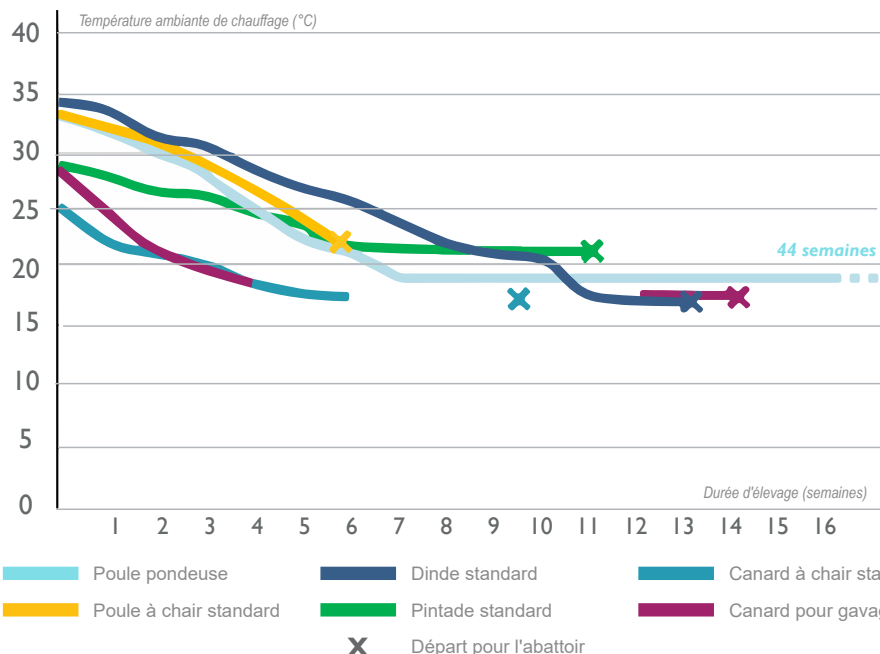
FILIÈRE AVICOLE

En élevage avicole, la chaleur est principalement utilisée pour le chauffage des bâtiments d'élevage. Celui-ci représente 85 % de la consommation énergétique totale de l'élevage. Les consommations de chauffage peuvent être importantes en raison des températures requises lors de l'arrivée des animaux dans l'élevage, à savoir en moyenne une température de 32 °C ambiante et d'environ 37 °C pour une chaleur localisée (graphique ci-contre).

De plus, la ventilation des bâtis est relativement importante augmentant ainsi les besoins en chauffage. La ventilation est indispensable pour renouveler l'air chargé en gaz (provenant des volailles) et nécessite un fort appel de puissance en compensation des pertes.

Il est également intéressant de noter que lors de certaines phases de production, le chauffage est moindre. En effet, la densité des animaux, leur âge et leur poids peuvent permettre de couvrir leurs besoins énergétiques.

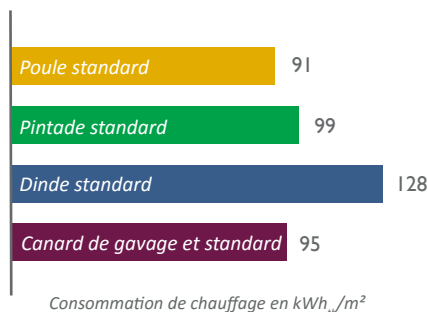
La consommation moyenne en énergie globale est située entre 70 et 150 kWh/m²/an soit 0,5 à 1,2 kWh/kg/an de poids vif (en fonction du poids des animaux par m² de bâtiment). Cependant, le rapport de consommation est différent entre l'été et l'hiver. Il est difficile de moduler le chauffage en fonction des périodes creuses (départ des volailles pour l'abattoir) et les périodes pleines (croissance des volailles). Une réflexion



Source : Données issues de J.L. GUERIN, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, site internet du groupe avicole et cynicole de Toulouse Agri Campus : <http://www.avicampus.fr/filieres.html>

sur la gestion des lots est alors à initier pour optimiser la régulation de chauffage.

Pour chaque type de volaille, la consommation de chauffage en kWh_{th}/m² est différente (graphique ci-dessous).



Les équipements de chauffage généralement utilisés sont les radiants

à gaz et les aérothermes. Les radiants permettent de transmettre la chaleur par rayonnement, à proximité de l'animal et émettent une température plus élevée que l'aérotherme. Ce radiant est nécessaire au début de la vie de certaines volailles, telles que les dindes. Les aérothermes, situés au plafond ou à l'entrée du bâtiment, soufflent de l'air à travers de l'eau chaude. Ils diffusent un flux d'air chaud dans l'ensemble du bâti, permettant d'obtenir une température ambiante, moins élevée que les radiants mais sur une durée plus longue.



“ De très bons retours sur aérothermes et des économies importantes sont réalisées sur les énergies fossiles. Cependant, plus de chaleur est utilisée, les bâtiments sont chauffés davantage. Nous avons constaté une différence au niveau des litières : elles sont plus sèches. Ceci facilite le nettoyage des bâtiments et les animaux sont plus propres. „
 GAEC Froger Girard, 180 kWe, chauffage des élevages (volailles)

- 70 k€ pour le réseau de chaleur et 75 k€ pour les aérothermes
- 8 lots de volailles par an
- 67 % de chaleur valorisée pour chauffer des bâtiments de volailles

FILIÈRE PORCINE

En élevage porcin, la chaleur peut être utilisée pour le chauffage des bâtiments, principalement pour les stades maternité et post-sevrage.

Le bâti maternité est maintenu entre 30 et 33 °C dans le nid porcelet et à 22 °C dans l'ambiance maternité. Le bâti post-sevrage est chauffé à 24 - 28 °C de 3 à 12 semaines d'âge et à 22 °C pour les gestantes avec maîtrise de l'hygrométrie.

En moyenne, le chauffage représente 46 % de la consommation énergétique totale d'un élevage porcin suivi par la ventilation à 39 %. La ventilation et le chauffage sont ainsi les deux postes énergétiques nécessitant une gestion rigoureuse afin de diminuer les dépenses énergétiques, tout en assurant le bien-être des animaux.

Stade physiologique	Besoins énergétiques totaux	Dont chauffage	Équipements généralement utilisés
Maternité	900 kWh/place/an	414 kWh _{th} /place/an	Lampes, dalles au sol électriques ou à eau chaude ou mixte
Post-sevrage	85 kWh/place/an	39 kWh _{th} /place/an	Lampes infrarouges, radiants, ailettes électriques ou à eau chaude, plaques chauffantes électriques ou à eau chaude
Engraissement	40 kWh/place/an	1 kWh _{th} /place/an	Peu de chauffage utilisé
Tous stades confondus	983 kWh/truie présente/an	454 kWh _{th} /truie/an	

Source : Données issues de l'ADEME (Utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments d'élevage – situation technico-économique en 2005 et leviers d'action actuels et futurs, 2007) et de l'IFIP (Le Bâtiment d'Élevage à Basse Consommation d'énergie, 2012)

FILIÈRE BOVINE

Au sein de la filière bovine, il faut distinguer les veaux, les vaches laitières et les vaches allaitantes. Ces dernières ne sont pas concernées par une possible utilisation de la chaleur issue de méthanisation.

Il y a des possibles besoins de chauffage pour l'eau de buvée des veaux de boucherie et le lavage de la salle de traite.

La filière bovine ne nécessite pas un chauffage des bâtiments pour les animaux, excepté éventuellement pour le préchauffage des salles lors de l'arrivée des veaux en période froide.

Filière	Usages énergétiques	Possible utilisation de la chaleur issue de méthanisation
Veaux	Production d'eau chaude et fonctionnement du bâtiment	Production eau chaude : 10 - 120 kWh _{th} /veau/an
Vaches laitières	Nettoyage des équipements de lavage et du matériel employé pour les pratiques d'élevage (alimentation, paillage, traite, etc.).	Production eau chaude : environ 85 kWh _{th} /vache laitière/an

Source : Données issues de l'ADEME (Utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments d'élevage – situation technico-économique en 2005 et leviers d'action actuels et futurs, 2007) et de l'IFIP (Le Bâtiment d'Élevage à Basse Consommation d'énergie, 2012)





CHAUFFAGE DES HABITATIONS

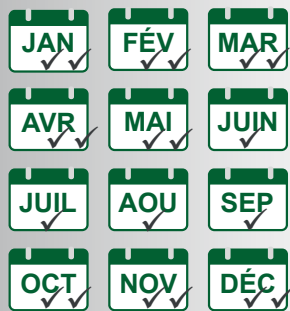
L'énergie thermique récupérée du procédé de cogénération peut être valorisée pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire des bâtiments et habitations de l'exploitant, des voisins et/ou du village à proximité.

Il est ainsi possible d'alimenter ces bâtiments via un réseau de chaleur s'ils sont suffisamment proches du lieu de production.

Pour l'installation de ce réseau, les besoins énergétiques des bâtiments sont pris en compte selon plusieurs paramètres :

- les caractéristiques thermiques et données techniques de base du bâtiment et locaux,
- la détermination des besoins énergétiques prévisionnels annuels,
- la puissance de chauffage à installer,
- le calcul des besoins en ECS,
- la courbe monotone des consommations et de puissances chauffage appelées sur l'année.

SAISONNALITÉ



✓ Usage partiel ✓ Usage total

+ ASPECTS POSITIFS

- + Économies possibles si proximité d'habitations
- + Association et intérêt du voisinage dans le projet

! POINTS DE VIGILANCE

- ◆ Chauffage en fonction de la localisation pour être rentable
- ◆ Remise aux normes nécessaire si installation dans les bâtis existants
- ◆ Obligation de résultats
- ◆ Accompagnement par un bureau d'études

ZOOM SUR LE RÉSEAU DE CHALEUR

La chaleur provenant du moteur de cogénération intègre le réseau de distribution courant via un échangeur de chaleur.

Dans le cas d'un seul bâtiment de logements collectifs par exemple, il est possible qu'un réseau général de chauffage existe. Il suffira donc de le relier au réseau de chaleur (alimenté par la cogénération) pour pouvoir répondre à une partie des besoins énergétiques.

L'utilisation de la chaleur issue de méthanisation pour le chauffage d'habitations nécessite un accompagnement par un bureau d'études thermiques. Celui-ci étudiera les besoins des habitations ainsi que les apports fournis par la méthanisation. L'aspect contractuel est également un élément à ne pas négliger notamment en terme d'obligation de fourniture.

En effet, la méthanisation ne permet pas de garantir une fourniture constante de la chaleur toute l'année (lié à des pannes, période de maintenance ou fluctuation importante des intrants).

CHIFFRES CLÉS

62,7 % de la consommation énergétique d'un foyer dédiés au chauffage

18 MWh_{th}/an d'énergie moyenne consommée en chauffage pour une maison de 140 m²

150 à 200 €/ml pour financer un réseau de chaleur (génie civil compris)

3 à 6 k€ en moyenne pour construire une installation d'une puissance de 9 à 35 kW_e avec un coût de main d'œuvre de 10 %

POUR PLUS D'INFORMATIONS

- ▶ Réussir un projet de méthanisation territoriale multipartenariale, ADEME 2011.
- ▶ Les exemples à suivre - Méthanisation à la ferme du GAEC Oudet, ADEME Champagne-Ardenne 2008.

“ Le chauffage des habitations voisines est une décision qui demande réflexion car les problématiques et les engagements sont importants. „

GAEC Des Moulins de Kerollet, 360 kW_e, séchage de bois

“ Il est difficile de trouver des gens compétents pour la valorisation de la chaleur qui nécessite une vraie expertise. „

EARL De Guernequay, 350 kW_e, chauffage de l'exploitation

- 4 maisons voisines chauffées par le réseau de chaleur
- 200 MWh/an 4 maisons chauffées (50 MWh/an/maison)
- 6 % de chaleur valorisée pour les maisons voisines



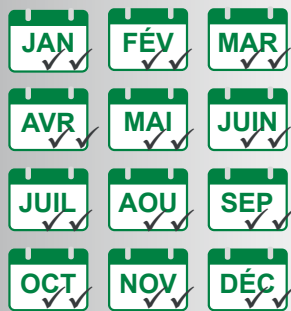
ALIMENTATION D'UN SITE INDUSTRIEL

Les industries en France représentent environ 20 % de la consommation actuelle d'énergie après le résidentiel, le tertiaire et les transports. Beaucoup d'entre elles utilisent des énergies fossiles (94 % des 32 Mtep consommés). Les industries sont en général intéressées par une alternative aux énergies fossiles en vue de réduire le coût de production et s'associent volontiers à l'image des énergies renouvelables comme la méthanisation.

Elles peuvent valoriser la chaleur pour :

- le séchage sur certaines lignes de procédés,
- le préchauffage de l'air comburant, de l'eau et des fluides et des produits,
- le chauffage des locaux,
- la production d'eau chaude sanitaire.

SAISONNALITÉ



✓ Usage partiel ✓ Usage total

+ ASPECTS POSITIFS

- + Besoins en énergie constants pour les industries et relativement importants
- + Possibilité de vendre la chaleur
- + Image territoriale

! POINTS DE VIGILANCE

- ◆ Alimentation de sites externes nécessitant une proximité voire une délocalisation
- ◆ Contractualisation dans le temps
- ◆ Difficultés entre deux entités différentes (public-privé)

ZOOM SUR LES BESOINS THERMIQUES

L'énergie issue de la cogénération peut être utilisée en milieu industriel à différents stades via de l'eau chaude à environ 80 - 90 °C.

Différentes entreprises peuvent valoriser l'énergie issue de la méthanisation tels que celles du secteur agro-alimentaire et laitier, les industries de chimie/plastique ou encore du papier carton.

Ces industries peuvent faire appel à cette eau chaude à travers des usages spécifiques dans l'usine telle que l'utilisation d'aérothermes pour certains procédés utilisés à grande échelle notamment dans les industries agro-alimentaires et laitières.

Cependant, de nombreux domaines de la production industrielle ont des besoins importants d'eau chaude sous forme de vapeur. En effet, ce fluide caloporteur est utilisé dans beaucoup de procédés nécessitant des températures au-delà de 100 °C. La méthanisation n'est dans ce cas pas toujours adaptée.

CHIFFRES CLÉS

31,8 Mtep consommés par le secteur industriel en 2014

400 MWh_{th}/an de chaleur consommée en moyenne par le milieu industriel en France

5 % de biogaz valorisé par cogénération via les industries, contre 95 % de consommation via les énergies fossiles

29 % de la consommation énergétique totale utilisés pour le chauffage du secteur agro-alimentaire et laitier et les industries de produits alimentaires, boissons et lait

POUR PLUS D'INFORMATIONS

- ▶ Réussir un projet de méthanisation territoriale multipartenariale, ADEME 2011.
- ▶ Fiche information : La valorisation de la chaleur, AILE 2011.



“ Une étude et une vision globale du projet sont nécessaires afin d'intégrer les problématiques d'arrêts, de variations, etc. pouvant survenir dans une unité de méthanisation. „

SAINTER Méthanisation, 530 kWe, séchage de plumes

- 76 °C pour la température de la chaleur fournie pour l'activité
- 500 à 700 ml de réseau de chaleur installé
- 80 % de chaleur valorisée pour le séchage de plumes



HYGIÉNISATION

L'hygiénisation est une étape indispensable pour les installations traitant les sous-produits animaux (SPAN) selon le règlement CE 1069/2009.

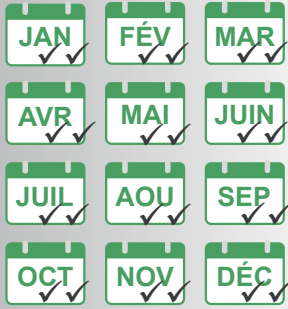
Ce processus d'hygiénisation se fait en amont de la digestion avec la chaleur issue de cogénération. Il permet au(x) substrat(s) concerné(s) de ne présenter aucun risque sanitaire à l'incorporation dans le digesteur.

Les exigences suivantes doivent être a minima respectées (selon le règlement CE 1069/2009) :

- Taille minimale des particules de 12 mm (sauf lisier),
- Température à coeur de 70 °C,
- Durée de la phase d'hygiénisation de 60 minutes.

Le facteur primordial de l'hygiénisation est le couple temps de séjour/température.

SAISONNALITÉ



✓ Usage partiel ✓✓ Usage total

+ ASPECTS POSITIFS

- + Produits initialement non valorisables en méthanisation sans hygiénisation préalable
- + Préchauffage des intrants

ZOOM SUR LE FONCTIONNEMENT

En amont du procédé d'hygiénisation, les sous-produits animaux sont stockés dans une pré-fosse dédiée généralement équipée d'un broyeur et/ou d'une pompe dilacératrice.

Les produits sont ensuite introduits dans le module d'hygiénisation qui a généralement une capacité comprise entre 10 et 15 m³.

Le procédé d'hygiénisation fonctionne généralement par cycles et consiste à porter les sous-produits animaux à une température de 70 °C et à une pression de 1 bar pendant 1 heure minimum.

La chaleur nécessaire à ce processus provient de la cogénération. La cuve d'hygiénisation est soit chauffée directement par l'eau chaude provenant du procédé de cogénération, soit via de l'eau chaude issue d'un échangeur de chaleur dédié.

CHIFFRES CLÉS

4 000 € en moyenne investis pour une installation avec une cuve d'hygiénisation de 400 litres

70°C/60 min appliqué pour l'hygiénisation du substrat

4,8 kWh_{th} d'énergie nécessaire pour le fonctionnement d'une cuve d'hygiénisation de 500 litres pendant 60 minutes à 70 °C

CE n°1069/2009 appliqué en règlement sur les sous-produits animaux

UE n°142/2011 appliqué en règlement concernant les taux légaux maximum de présence de micro-organismes pathogènes dans la matière après conversion

! POINTS DE VIGILANCE

- ◆ Coût d'installation relativement élevé
- ◆ Normes et réglementation à respecter assidûment
- ◆ Procédés et solutions encore peu développés
- ◆ Maintenance et suivi

POUR PLUS D'INFORMATIONS

- ▶ Fiche technique : Méthanisation, ADEME Angers 2014.
- ▶ XX^{èmes} rencontres professionnelles Biomasses Energie : des sources de matières fertilisantes – Méthanisation et digestat, CHAMBRES D'AGRICULTURE 2013.
- ▶ Fiche exemple à suivre méthanisation endiverie à Soyécourt.



ADEME 2011 ©

L'hygiénisation permet également de préchauffer les intrants, réduisant ainsi le besoin de chauffage du méthaniseur.



PRESTATIONS SPÉCIFIQUES

La chaleur issue de la méthanisation est valorisable à travers plusieurs filières facilement duplicables, que ce soit pour les élevages, pour le séchage de matières (bois, foin, digestat, etc.), les habitations, les sites industriels ou pour les serres agricoles.

D'autres usages existent et font l'objet parfois de spécificités locales ou de cas particuliers tels que la culture de

champignons, le chauffage de piscines (privées ou municipales), le chauffage de gîtes ou encore pour le séchage de bois d'œuvre.

Ces prestations spécifiques seront dimensionnées et adaptées en fonction des contraintes et des besoins locaux. Un projet de méthanisation doit ainsi intégrer les différents besoins de son territoire.

+ ASPECTS POSITIFS

- + Diversification agricole
- + Diminution des charges
- + Opportunités de recettes

! POINTS DE VIGILANCE

- ◆ Peu de retours d'expérience
- ◆ Valorisation en fonction des opportunités et de la proximité avec l'unité de méthanisation
- ◆ Contractualisation pour la fourniture de la chaleur

ZOOM SUR LES PRESTATIONS

Les champignons ont des besoins variables en température et en humidité au cours de leur développement. La chaleur peut être valorisée pour le chauffage des chambres de culture, pour le maintien en humidité et pour la désinfection et le nettoyage des chambres. Elle permet de maintenir une température adéquate pour la culture de champignons en hiver (canalisation d'eau chaude et gros ventilateurs) comme en été (réseaux de froid).

Concernant les piscines, il est conseillé de coupler ce mode de chauffage avec une chaudière pour sécuriser l'approvisionnement et assurer un appoint en période hivernale.

D'autres prestations spécifiques peuvent être de type :

- Germination pour malterie,
- Séchage de bois d'oeuvre,
- Compostage,
- Balnéothérapie,
- Désinfection.

Cette liste n'est pas exhaustive et dépend des opportunités locales.

CHIFFRES CLÉS

10 - 25 °C moyenne de température pour la culture de champignons, de 80 à 100 % de besoins en humidité

15 k€ nécessaire pour le réseau de chaleur (réseau, génie civil, purge) d'une champignonnière de 800 m², d'une distance de 305 m avec l'unité de méthanisation

150 MWh_{th}/an d'énergie valorisée sur l'année pour une champignonnière

1,1 MWh_{th}/an de besoins énergétiques pour une piscine standard de 300 m²

16,8 MWh_{th}/an consommés annuellement pour une habitation de 120 m²

POUR PLUS D'INFORMATIONS

- ▶ Fiche Valorisation de la chaleur : Valorisation en champignonnière sur l'unité de l'EARL de Guernequay, AAMF 2010.
- ▶ Site internet du GAEC Reconnu Ferme Bio de They : www.fermebiothey.fr



“ La champignonnière a été une opportunité mais cela reste un cas difficilement reproductible. „

EARL De Guernequay, 350 kWe, chauffage d'une champignonnière

“ De vrais avantages indirects ont pu être constatés : augmentation importante de la fréquentation du gîte (avec la piscine chauffée) [...] „

GAEC Reconnu Ferme Bio de They , 120 kWe, chauffage de gîte et piscine

- 50 k€ pour l'alimentation en chauffage du gîte et de la piscine
- 336 MWh_{th}/an consommés pour le chauffage
- 35 % de chaleur valorisée pour le chauffage du gîte et de la piscine



CHAUFFAGE DES SERRES

Les serres, tant pour la culture maraîchère que pour la production horticole, possèdent dans certains cas un système de chauffage. Ceci permet de garantir une activité toute l'année et un développement optimal de la culture pour une meilleure compétitivité.

La chaleur issue de méthanisation permet d'assurer le chauffage des serres et de répondre aux exigences du consommateur.

SAISONNALITÉ



✓ Usage partiel ✓ Usage total

+ ASPECTS POSITIFS

- + Réduction des coûts de chauffage
- + Prestation de services complémentaires
- + Économies d'énergies

! POINTS DE VIGILANCE

- ◆ Forte intensité d'investissements et d'énergie
- ◆ Nécessite une main d'oeuvre permanente et saisonnière
- ◆ Temps de maintenance important
- ◆ Obligation de résultats

ZOOM SUR LE CHAUFFAGE DES SERRES

La culture sous serre chauffée est consommatrice d'énergie pour assurer le maintien de la température optimale de croissance des végétaux. Les besoins en chauffage sont différents en fonction des régions et inférieurs dans le sud de la France par rapport au nord.

La chaleur, issue de la cogénération, arrive sous forme d'eau chaude à 80 - 90 °C et est récupérée via une boucle. Cette eau circule en circuit fermé à travers des canalisations. Afin de minimiser les pertes thermiques, les serres ne doivent pas se situer trop loin du moteur de cogénération.

La chaleur issue de cogénération peut être retransmise dans la serre de deux façons :

- La première façon consiste à faire circuler l'eau chaude à travers des tubes métalliques, appelés thermosiphons. Ces tubes sont aériens ou placés au sol (chauffage rail).
- La seconde façon est d'utiliser un aérotherme, c'est-à-dire un échangeur de chaleur muni d'un ventilateur qui brasse de l'air en direction de l'eau chaude apportée par la cogénération. L'aérotherme apporte ainsi un flux d'air

CHIFFRES CLÉS

1 ha de serre en verre chauffée correspond à un coût d'installation d'environ 1,2 million d'euros

40 kg/m² de rendement contre 15 kg/m² pour une serre non chauffée

225 kWh_{th}/m² de consommation annuelle moyenne sur l'ensemble des serres chauffées maraîchères et horticoles

9 455 ha de serres chauffées (maraîchères et horticoles) en France métropolitaine en 2010

3 GWh_{th} consommés par an pour une serre de tomates de 1 ha

2 150 kWh_{th}/an consommés pour 1 ha de serre horticole via 1,8 km de réseau de chaleur

POUR PLUS D'INFORMATIONS

- ▶ Etude du projet COLENERGIE : Développement d'unité de méthanisation pour le chauffage de serres agricoles, étude réglementaire et économique, G.GANZEL et J.J. VERMEIRE 2008.
- ▶ Présentation powerpoint : Différents exemples de valorisation de la chaleur, AAMF.
- ▶ Centre technique au service de la filière fruits et légumes : www.ctfl.fr



“ La valorisation de la chaleur à travers la mise en place d'une serre nécessite beaucoup de main d'oeuvre pour un chiffre d'affaires relativement bas. [...] Cependant, cette diversification est intéressante d'un point de vue sociétal. „

GAEC de l'Aurore, 190 kW_e, serre maraîchère biologique, 850 m²

- 150 k€ pour la serre
- 474 MWh_{th}/an consommés pour le chauffage
- 27 % de la chaleur valorisée pour le chauffage des serres

chaud dans l'ensemble de la serre. L'énergie est le second poste de dépense d'une serre chauffée après la main d'œuvre. Le chauffage d'une serre représente 20 à 40 % des coûts de production.

La chaleur issue de la cogénération est ainsi une alternative économiquement intéressante pour le chauffage des serres horticoles et maraîchères partout en France et pour toute l'année.

Le chauffage des serres doit être intégré à une performance énergétique globale de cette activité. Ainsi, d'autres procédés peuvent être envisagés afin d'améliorer la performance énergétique d'une serre.

La production horticole et maraîchère peut être optimisée via le système

d'irrigation et de ventilation par l'utilisation de différents outils et matériaux de couvertures et d'étanchéité. Ceux-ci peuvent être utilisés aussi bien pour des constructions neuves qu'existantes, permettant d'économiser entre 5 et 50 % d'énergie. Des écrans thermiques sont également une solution pour isoler le toit et ainsi économiser jusqu'à 25 % d'énergie. Par ailleurs, l'outil de gestion du climat assisté par ordinateur permet de connaître, via des capteurs, la température en temps réel, l'hygrométrie et l'ensoleillement de la serre.

Il est plus facile d'adapter un nouveau réseau de chaleur à une serre en verre qu'à une serre en plastique.

CARACTÉRISTIQUES DES SERRES

Pour les cultures chauffées, il existe deux principaux types de serre :

- La serre en plastique en tunnel,
- La serre en verre.

Selon le type de serres installées, le système de restitution de la chaleur issue du chauffage par cogénération sera différent. En effet, il est courant de voir d'anciennes serres en verre avec un système de restitution de la chaleur par tubes aériens.

D'autres caractéristiques différencient les deux types de serres, tel qu'indiqué dans le tableau ci-dessous.

Caractéristiques	Serre en verre	Serre en plastique (tunnel)
Matériel	Verre simple, double ou isolant	Polycarbonate, simple ou double paroi gonflable
Résistance aux chocs	Moyen	Fort
Équipements additionnels	Nombreux	Faible
Efficacité (contrôle climat)	Forte	Moyenne
Type de chauffage	Aérothermes et tubes (aériens ou rails au sol)	Aérothermes et/ou tubes au sol
Coût	Élevé	Faible
Durée de vie moyenne	20 ans	13 ans

Source : Données issues des Producteurs de Légumes de France, fiches métiers, présentation ppt : Les Cultures sous serres





CULTURE DE MICROALGUES

Les microalgues sont des micro-organismes photosynthétiques qui assurent leur croissance en transformant l'énergie solaire en énergie chimique grâce à la présence d'éléments inorganiques (dioxyde de carbone, azote, phosphore, potassium,...), d'eau et d'énergie lumineuse.

En puisant l'énergie du soleil et le CO₂ de l'atmosphère, leur croissance se fait aisément dans leur milieu naturel. Néanmoins, leur développement est lent et ne permet pas d'envisager une culture de microalgues à échelle industrielle. Afin d'intensifier

et de contrôler la croissance de ces micro-organismes, deux systèmes de culture sont utilisés : les ponds (systèmes ouverts tels que les serres de microalgues) et les photobioréacteurs (systèmes fermés).

Elles sont valorisées sur des marchés à haute valeur ajoutée tels que les compléments alimentaires et la cosmétique. Ce type de valorisation des microalgues est cependant peu mature, à ce jour.

SAISONNALITÉ



✓ Usage partiel ✓✓ Usage total

+ ASPECTS POSITIFS

- + Diversification des activités de l'exploitation agricole
- + Marché en expansion
- + Possibilité de faire un couplage entre la méthanisation et la culture de microalgues

! POINTS DE VIGILANCE

- ◆ Marché non mature
- ◆ Main d'oeuvre supplémentaire pour la culture de microalgues
- ◆ Peu de retours d'expérience
- ◆ Aléas de production
- ◆ Circuit de commercialisation

ZOOM SUR LA PRODUCTION DE MICROALGUES À LA FERME

Pour une production "à la ferme", les microalgues sont généralement cultivées sous serre ou plastique, simple paroi ou double parois. Le type de serres va déterminer l'importance des déperditions de chaleur et de la captation de l'énergie solaire. Les serres les plus couramment utilisées abritent des bassins de microalgues compris entre 250 et 500 m².

La consommation thermique dépend de la souche d'algues, des conditions climatiques et du système de culture. Elle peut représenter entre 10 et 30 % de l'énergie thermique annuelle produite par le moteur de cogénération.

L'utilisation de la chaleur est très saisonnière. En hiver, la chaleur permet de conserver les bassins à une température minimum (environ 18 °C) tandis que l'été, un complément de chaleur est faible voire inutile ; le besoin est fort à l'intersaison.

CHIFFRES CLÉS

20 - 50 t MS/ha/an de microalgues produits en moyenne

2 kg CO₂/kg microalgues produits nécessaires pour la croissance des microalgues

32 - 34 °C requis pour une croissance optimale des microalgues

350 €/m² investis en moyenne pour la culture de microalgues sur une unité de méthanisation d'une puissance de 105 kW_e

45 €/m² en moyenne pour l'exploitation d'une unité de culture de microalgues de 105 kW_e

POUR PLUS D'INFORMATIONS

- ▶ Analyse de la faisabilité d'un couplage de production de biogaz et de spiruline, ADEME 2015.
- ▶ Livre turquoise : algues, filières du futur, ADEBIOTECH 2011.
- ▶ Les petites nouvelles de la spiruline artisanale et solidaire de J.P. JOURDAN : www.spirulinefrance.free.fr/lespetitesnouvel.html



“ C'est une très bonne filière mais qui n'est pas mature. Tant qu'il n'y aura pas de mention « Spiruline française », la rentabilité de cette voie de valorisation n'est pas assurée. „

EARL De Guernequay, 350 kW_e, Culture de microalgues

- 25 k€ pour les tuyaux et l'échangeur à plaques
- 2 bassins de 250 m² pour une production de 1,5 t MS/an
- 26 % de la chaleur valorisée par la culture de microalgues



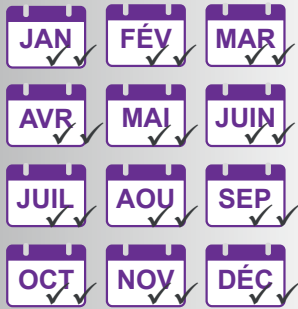
ORC (CYCLE ORGANIQUE DE RANKINE)

L'ORC (cycle organique de Rankine) consiste en l'évaporation d'un fluide frigorigère à basse température. Ce dernier (différent en fonction du régime de température ; CFC, silicones, ammoniac) entre sous pression dans une microturbine alimentant un générateur et est détendu afin de produire de l'électricité. Le fluide est ensuite condensé pour recommencer le cycle.

L'ORC fonctionne avec un fluide organique dont la masse volumique est plus importante par rapport à la vapeur d'eau utilisée pour le cycle ordinaire.

Bien qu'avec un rendement faible, de l'ordre de 5 à 8 %, l'électricité produite est à additionner à celle produite par le cogénérateur augmentant ainsi le rendement électrique global.

SAISONNALITÉ



✓ Usage partiel ✓✓ Usage total

ASPECTS POSITIFS

- Augmentation des revenus
- Adaptable à toutes les puissances et à toutes les sources de chaleur
- Faibles coûts de maintenance

POINTS DE VIGILANCE

- ◆ Peu de retours d'expérience
- ◆ Investissements conséquents
- ◆ Production de chaleur à température faible (30 à 40 °C) pouvant être difficilement valorisée (préchauffage du méthaniseur, séchage à faible température ou dans des serres)

ZOOM SUR LES BESOINS THERMIQUES

L'ORC s'intègre sur le réseau de chaleur de la technologie de cogénération sur le circuit de refroidissement.

Par exemple, pour un moteur de 200 kWe, la puissance thermique d'environ 200 kWth pourra être convertie en électricité additionnelle. Le rendement électrique du module ORC est situé entre 5 et 8 %, ce qui représente 10 à 16 kWe pour 200 kWth.

Les principaux facteurs d'influence sur le rendement sont la puissance installée et l'écart de température entre la sortie moteur et la boucle d'eau froide. En effet, plus la différence de température sera importante, plus le procédé sera efficace.

La chaleur résiduelle issue de l'ORC est à une température d'environ 40 °C et peut être valorisée sur site ou doit être refroidie à 29 °C via une tour de refroidissement.

Le prix d'achat de l'électricité produite par le module ORC est équivalent au prix d'achat de l'électricité produite par le moteur de cogénération.

CHIFFRES CLÉS

10 à 100 kWe disponibles pour une technologie ORC (pour des moteurs biogaz de 100 à 1 600 kWe)

~**10 %** d'électricité produite utilisée pour le fonctionnement des auxiliaires de l'ORC

20 ans en moyenne pour la durée de vie du système

35 k€ (10 kWe) - 180 k€ (100 kWe) investis pour un procédé ORC

100 kWe de puissance minimale type installée pour une unité de méthanisation

POUR PLUS D'INFORMATIONS

- ▶ Guide pour l'optimisation de l'efficacité énergétique des installations de biogaz, ATEE Club Biogaz 2012.
- ▶ Fiche technique ORC, ENOGIA.



“ C'est un bon principe permettant de valoriser entièrement la chaleur issue de cogénération et pouvant être couplé aisément à un séchoir. ”

EARL Ker Noé, 100 kWe, ORC

- 35 k€ d'investissement pour le système ORC
- 5 à 6 kWe de production actuelle (prototype)
- 83 % de la chaleur valorisée par l'ORC



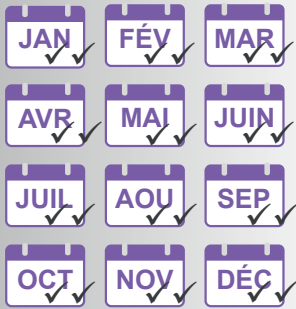
TRIGÉNÉRATION

La trigénération permet la production simultanée de trois énergies : chaleur, électricité et froid. Deux grandes familles existent pour la production de froid : compression mécanique de vapeur et cycle thermochimique à absorption. Ce dernier procédé a l'avantage d'utiliser une source de chaleur « gratuite » afin de produire du froid.

En ce qui concerne la performance de ce procédé, plus la température d'entrée sera chaude, plus la température à froid en sortie sera basse.

La chaleur issue des gaz de refroidissement et/ou des fumées peut permettre de produire du froid par le couplage avec cette technologie, de diversifier encore les usages de chaleur et la naissance de nouveaux projets. Ceci dépend de la technologie de cogénération et des autres voies de valorisation de la chaleur sur l'unité de méthanisation.

SAISONNALITÉ



✓ Usage partiel ✓ Usage total

+ ASPECTS POSITIFS

- + Coûts diminués
- + Adaptable à toutes les puissances et à toutes les températures de chaleur
- + Peu de maintenance

! POINTS DE VIGILANCE

- ◆ Peu de retours d'expérience
- ◆ Investissements conséquents
- ◆ Production de chaleur à température faible

ZOOM SUR LES APPLICATIONS

La trigénération n'est à ce jour pas utilisée autour de la méthanisation bien que plusieurs projets plus ou moins aboutis sont en cours (pour une puissance thermique du moteur de cogénération de 250 kW_{th} en moyenne).

Il existe différentes applications pour la valorisation du froid produit :

- Refroidissement du lait,
- Stockage de pommes de terre, industries agroalimentaires,
- Séchage de céréales ou fourrage avec froid (meilleure conservation et évite les insectes),
- Rafraîchissement d'élevage (en dessous de 6 à 8 °C de la température extérieure),
- Climatisation (ambiante, procédé), séchage, piscine (déshumidification air),
- Déshumidification.

Pour cette dernière utilisation, une production de froid supplémentaire doit être prévue afin de ne pas interrompre la chaîne de froid.

CHIFFRES CLÉS

5 kW à 5 MW de puissance disponible pour un procédé de trigénération

0,7 de COP en moyenne (varie en fonction de la température de la chaleur en entrée et la température de froid désirée)

5 à 10 % d'énergie consommée par les auxiliaires en fonction de la puissance installée

20 à 30 ans en moyenne pour la durée de vie

10 - 15 k€/kW froid produit investis

150 à 200 kWe de puissance minimale installée

POUR PLUS D'INFORMATIONS

- ▶ *Présentation ppt Trigénération - Valoriser du froid à partir de la production de biogaz, AXIMA REFRIGERATION, CLARKE ENERGY 2014.*
- ▶ *La cogénération - trigénération, Fiche technique PRISME n°4, IEPF 2004.*



Pour une arrivée en chaleur de 100 kW_{th}, 70 kW froid vont être produits ainsi que 170 kW_{th} à 35 °C. Cette chaleur à faible température peut être utilisée pour préchauffer les intrants, faire du séchage à basse température, etc.



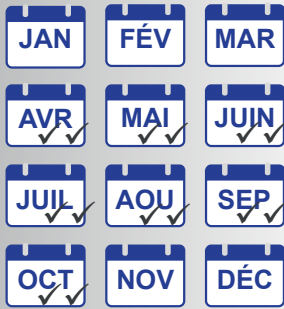
SÉCHAGE DE FOIN

Le séchage du foin apporte une meilleure autonomie et économie sur une exploitation agricole. Les bénéfices apportés sont nombreux :

- Qualité de fourrage améliorée,
- Autonomie alimentaire de l'exploitation agricole,
- Amélioration des conditions de travail et gains en coûts d'exploitation.

Le bâtiment pour le séchage doit permettre de stocker, de sécher et de distribuer aisément le foin aux animaux. Différents systèmes permettent de sécher le foin. Ces derniers peuvent être utilisés en parallèle ou en complément en fonction de la production énergétique associée : réchauffage solaire, chaudière bois, chaleur d'une unité de méthanisation, générateurs d'air chaud, chauffage électrique ou pompe à chaleur.

SAISONNALITÉ



✓ Usage partiel ✓ Usage total

+ ASPECTS POSITIFS

- + Qualité des fourrages pour les animaux
- + Simplification du temps de travail
- + Économies d'énergie
- + Autonomie alimentaire possible de l'exploitation agricole

! POINTS DE VIGILANCE

- ◆ Investissements conséquents
- ◆ Dimensionnement du bâtiment et performance énergétique nécessitent une réflexion importante en amont

ZOOM SUR LES SYSTÈMES

Il existe deux technologies de séchage du foin :

- **Le séchage en vrac ou séchage en grange** qui constitue la majorité des cas. Ce séchage s'effectue dans des cellules d'environ 6 m de hauteur pour une surface comprise entre 50 et 250 m²,
- **Le séchage en balles rondes** qui est plus hétérogène et nécessite un produit moins compacté pour un séchage homogène. Trois types de ventilation se distinguent : ventilation mono-flux par le bas, ventilation mono-flux inversé et ventilation double flux.

Il existe des espèces séchant plus facilement que d'autres. En effet, parmi les espèces faciles à sécher, sont recensées la luzerne, le dactyle, la fléole, la fétuque, le trèfle violet, etc. À l'inverse, les espèces telles que le ray grass Anglais, le ray grass d'Italie et le trèfle blanc sont plus difficiles à déshydrater.

CHIFFRES CLÉS

1,2 - 1,5 kWh_{th}/kg d'eau évaporée selon la technologie de séchage utilisée

85 % MS en fin de séchage du foin

50 kWe de puissance minimale installée

50 - 600 k€ d'investissements nécessaires pour un séchage de foin en vrac

20 - 100 k€ investis pour un séchage de foin en balles rondes ou carrées

2 - 5 k€/an d'électricité nécessaire pour le séchage

100 k€ financés en moyenne pour 2 cellules de ~1 000 m³ avec griffes et ventilateurs

POUR PLUS D'INFORMATIONS

- ▶ *Le séchage de produits végétaux pour valoriser la chaleur d'une installation de méthanisation, ADEME Bourgogne 2015.*
- ▶ *Utilisation rationnelle de l'énergie pour le séchage des grains et des fourrages – situation technico-économique du parc de séchoirs existant et leviers d'actions actuels et futurs, ADEME 2011.*
- ▶ www.segrafo.com



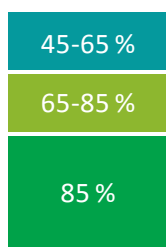
“ Un bénéfice important et non comptabilisé est la rentabilité humaine. Cette valorisation permet aux exploitants une source de stress en moins pour le stockage de fourrage. ”

GAEC de l'Aurore, 190 kWe, spécialité : séchage du foin en vrac

- 100 k€ pour le sécheur
- 800 t MS/an de fourrage séché
- 16 % de la chaleur valorisée pour le séchage de foin

SÉCHAGE EN VRAC

L'herbe est déposée sur des caillebotis sur toute la longueur et largeur de la cellule de séchage. Décompactée, elle est disposée en couches successives. Une première couche de deux mètres de hauteur soutient les autres couches d'un mètre, ajoutées au fur et à mesure des récoltes.



Taux de matières sèches en cellule dans les différentes couches

La capacité de la cellule de séchage ne permet pas de récolter et de sécher toute l'herbe directement.

Un ventilateur est placé à la base de la cellule, qui envoie de l'air chaud et sec au réchauffeur d'air, situé à l'intérieur. L'air se répartit de façon homogène à l'aide du caillebotis, et remonte au sein de la cellule ; l'humidité est ainsi emportée vers le haut.

Le ventilateur force alors l'air à rentrer dans le fourrage pour capter l'eau et empêcher le fourrage humide de chauffer.

Pour obtenir la bonne température pour le séchage, il est important de prendre en compte plusieurs paramètres comme l'humidité relative de l'air, le

choix du fourrage, la précocité ou non de la récolte, la pression, la masse ou encore l'épaisseur du foin. Le nombre de jours de séchage est variable, allant de 2 à 3 semaines de ventilation permettant au foin d'être par la suite conservé longtemps.

Le fourrage sec est stocké sur son lieu de séchage, pour être ensuite distribué directement à l'auge à l'aide de la griffe à fourrage.

SÉCHAGE EN BALLES

Le séchage peut également se faire en balles (rondes ou carrées). Ce système nécessite une forte teneur initiale en matières sèches de l'ordre de 65 à 80 %. Cette méthode réduit considérablement le temps de travail (passant de 6 h par hectare pour le séchage en vrac contre 3,5 h par hectare pour le séchage en balles).

Le ramassage de l'herbe peut alors être effectué avec des appareils déjà existants à la ferme mais il augmente les frais de fonctionnement.

Le séchage peut être réalisé principalement de deux façons :

- Système de ventilation par le bas,
- Système de ventilation double flux.

Un bâtiment dédié est nécessaire pour le système de ventilation par le bas. Le nombre de bottes séchées au cœur d'un cycle varie en fonction de la conception du séchoir.

Le système de ventilation double flux ne nécessite pas un bâtiment spécifique

et offre une capacité de séchage de l'ordre de 8 à 48 bottes rondes ou carrées à la fois.

CHOIX DU SÉCHAGE

Le type de séchage choisi dépend des équipements et bâtiments existants, mais également de l'investissement possible et de la main d'œuvre disponible.

Le séchage en vrac nécessite plus d'investissements mais moins de main d'œuvre et de coûts d'exploitation que le séchage en balles.

Cependant, le séchage en balles apporte un gain de temps et est plus optimisé pour des distances importantes.





SÉCHAGE DE BOIS ÉNERGIE

Le séchage du bois est une prestation de service complémentaire pouvant permettre d'atteindre une qualité calorifique inégalable en séchage à l'air libre.

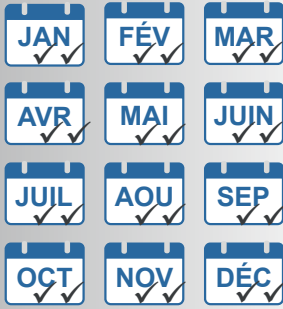
Le bois très sec, avec des teneurs en humidité inférieures à 20 %, permet :

1. De répondre aux nouvelles exigences sur la qualité du bois des chaudières biomasse récentes,

2. D'atteindre une efficacité énergétique optimale lors de la combustion par un PCI plus important,
3. De réaliser une combustion plus propre c'est-à-dire avec moins d'émissions polluantes.

Le bois ainsi séché peut être vendu à un meilleur prix.

SAISONNALITÉ



✓ Usage partiel ✓✓ Usage total

+ ASPECTS POSITIFS

- + Prestation de service complémentaire
- + Marché en croissance
- + Bois sec apportant de nombreux avantages lors de la combustion

ZOOM SUR LES TYPES DE BOIS

Le bois peut être séché sous trois formes : bûches, plaquettes forestières et sciure. Chaque essence de bois a un taux d'humidité différent. Ceci peut influencer sur la quantité d'eau à évaporer et ainsi sur la chaleur nécessaire pour le séchage.

Un broyeur peut également être intégré afin d'apporter un service/une offre complémentaire aux différents prestataires. Il existe différentes technologies de séchage du bois :

- **Séchage direct** : l'air chaud sèche directement le bois,
- **Séchage indirect** : transfert thermique au contact d'une paroi,
- **Séchage mixte** : procédé combinant les propriétés des systèmes de séchage direct et indirect.

CHIFFRES CLÉS

1 - 2 kWh_{th}/kg d'eau évaporée selon la technologie utilisée et le type de bois

80 % MS en fin de séchage du bois

50 kW_e de puissance minimale installée

850 tonnes de bois pouvant être séché pour 50 kW_{th} installé

100 - 250 k€ investis pour un séchage de bois

15 €/t en moyenne, facturé pour le séchage de bois plaquettes

10 €/stère en moyenne, facturé pour le séchage de bois bûches

! POINTS DE VIGILANCE

- ◆ Investissements conséquents
- ◆ Connaissance du marché local et des besoins client en amont
- ◆ Rentabilité économique à étudier selon les opportunités locales
- ◆ Logistique et approvisionnement

POUR PLUS D'INFORMATIONS

- ▶ Le séchage de produits végétaux pour valoriser la chaleur d'une installation de méthanisation, ADEME Bourgogne 2015.
- ▶ Présentation ppt Abibois, La méthanisation : une opportunité pour le séchage du bois de chauffage 2011.

“ La valorisation de la chaleur nécessite de rester cohérent avec les problématiques locales : protéines pour élevage, qualité du bois pour les chaudières situées sur le territoire, etc. Elle doit être faite à l'échelle de l'exploitation agricole ; il faut des choses simples et non chronophages. ”

GAEC des Moulins de Kerollet, 360 kW_e, séchage du bois

- 600 k€ pour le sècheur
- 6 000 t/an de plaquettes bois séchées
- 74 % de la chaleur valorisée pour le séchage de bois énergie

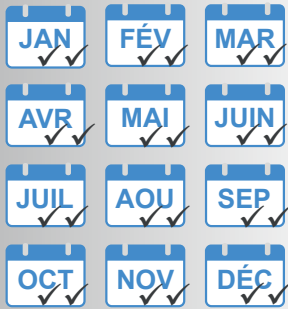


SÉCHAGE DU DIGESTAT

Le séchage peut se faire sur le digestat brut ou sur sa fraction solide après une étape de pré-concentration, souvent par concentration de phases. Ce dernier cas est plus favorable en termes de performance énergétique, taille de l'installation de séchage et coûts associés mais s'adresse à de petits excédents car il ne permet d'exporter que peu d'azote.

La chaleur produite par cogénération n'est pas suffisante pour le séchage de la totalité du digestat brut. Par ailleurs, à l'heure actuelle, aucune norme ne peut s'appliquer à un digestat séché. Ce dernier ne peut être vendu. Très développé jusqu'à maintenant pour maximiser la prime énergétique 2011, le séchage de digestat pourrait ralentir avec l'annulation de cette condition en 2016.

SAISONNALITÉ



✓ Usage partiel ✓ Usage total

+ ASPECTS POSITIFS

- + Produit stable
- + Transport et utilisation facilités
- + Solution dans les zones d'excédents
- + Gain de stockage

! POINTS DE VIGILANCE

- ◆ Émissions gazeuses importantes
- ◆ Technologies encore peu adaptées
- ◆ Maintenance importante
- ◆ Pas d'accès à un statut produit

ZOOM SUR LES TECHNOLOGIES

Le séchage thermique du digestat est un procédé permettant d'évacuer l'eau résiduelle se trouvant à l'intérieur du digestat ; l'objectif étant de diminuer son volume. Ainsi, la déshydratation permet d'obtenir un substrat plus concentré et plus léger facilitant l'exportation (une masse réduite pour une même quantité d'éléments nutritifs).

Il existe 2 technologies de séchage du digestat :

- **Séchage direct** (tapis de séchage ou sècheurs à bandes) : l'air chaud sèche directement l'effluent,
- **Séchage indirect** (tambours à double paroi : transfert thermique au contact d'une paroi).

Le séchage direct est la technologie la plus simple à mettre en œuvre avec de plus faibles coûts d'investissements. Néanmoins, un laveur d'air est nécessaire pour le traitement de l'ammoniac.

CHIFFRES CLÉS

0,8 - 1,3 kWh_{th}/kg d'eau évaporée en fonction de la technologie utilisée

80 % MS en fin de séchage du digestat

100 - 150 kWe de puissance minimale installée de l'unité de méthanisation

400 - 700 k€ d'investissements nécessaires en intégrant le préconcentrateur et le laveur d'air

40 - 250 k€/an de coûts d'exploitation

10 à 20 % du volume du digestat solide par rapport au digestat brut

POUR PLUS D'INFORMATIONS

- ▶ *Etat de l'art des méthodes (rentables) pour l'élimination, la concentration ou la transformation de l'azote pour les installations de biogaz agricoles de taille petite/moyenne, EREP 2009.*
- ▶ *Méthanisation dans la filière porcine – séparation de phases, séchage et normalisation d'un digestat, ADEME 2010.*
- ▶ www.diva.irstea.fr



“ Il est important de valider avec le constructeur la compatibilité du sécheur proposé avec la typicité du digestat à sécher. Par ailleurs, les compétences nécessaires à la conduite d'un sécheur comme le nôtre dépassent et se différencient du niveau de compétences requis pour la conduite d'installations ou d'équipements agricoles. ”

Gâtinais Biogaz, 600 kWe, séchage du digestat liquide

- 563 k€ pour le sécheur
- 3 000 t/an de digestat
- 80 % de la chaleur valorisée pour le séchage du digestat



SÉCHAGE MULTI-PRODUITS

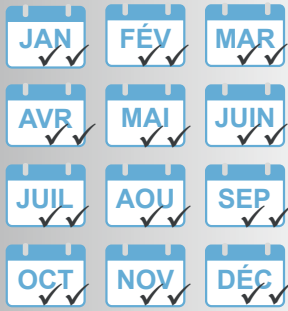
Le séchage multi-produits consiste à sécher différents produits par le même procédé en fonction des opportunités, de la saison et des besoins. Les produits les plus généralement séchés sont : digestat, bois, fourrage. Ces produits font l'objet de fiches dédiées dans ce guide.

Néanmoins, d'autres matières peuvent également faire l'objet d'un séchage en fonction des besoins de déshydratation

nécessaires : semences, fientes, pulpes, maïs grain, etc.

Différents systèmes permettent de faire du séchage multi-produits. Ces derniers peuvent être utilisés en parallèle ou en complément en fonction de la production énergétique associée : réchauffage solaire, chaudière bois, chaleur d'une unité de méthanisation, générateurs d'air chaud, chauffage électrique ou pompe à chaleur.

SAISONNALITÉ



✓ Usage partiel ✓✓ Usage total

+ ASPECTS POSITIFS

- + Prestation de service complémentaire
- + Marché en croissance
- + Apports de revenus complémentaires

! POINTS DE VIGILANCE

- ◆ Investissements conséquents
- ◆ Connaissance du marché local et des besoins client en amont
- ◆ Rentabilité économique à étudier selon les opportunités locales

ZOOM SUR LE TYPE DE SÉCHOIR

Il existe différents types de séchoir adaptés ou non en fonction du produit que l'on souhaite sécher. En effet, chaque type de séchoir a sa spécificité. Il est donc nécessaire de prendre en compte certains paramètres pour le choix : performances techniques, consommation électrique, main d'œuvre nécessaire, etc.

	Séchoir à bandes	Plateforme séchante	Benne séchante	Cellule séchante	Séchoir en botes
Digestat	Réalisable	Réalisable	Non réalisable	Non réalisable	Non réalisable
Maïs	Réalisable sous certaines conditions	Réalisable sous certaines conditions	Réalisable	Réalisable	Non réalisable
Graine	Réalisable	Réalisable	Réalisable	Réalisable	Non réalisable
Plaquette	Réalisable	Réalisable	Réalisable	Réalisable	Non réalisable
Bûche	Non réalisable	Réalisable	Réalisable	Réalisable	Non réalisable
Sciure	Réalisable sous certaines conditions	Non réalisable	Non réalisable	Non réalisable	Non réalisable
Fourrage	Non réalisable	Réalisable	Non réalisable	Réalisable	Réalisable

Source : ADEME Bourgogne

■ Réalisable
■ Réalisable sous certaines conditions
■ Non réalisable

CHIFFRES CLÉS

0,8 - 2 kWh_{th}/kg d'eau

évaporée en fonction de la technologie utilisée et du type de produits

80 - 85 % MS en fin de séchage du produit

50 kWe de puissance minimale installée pour l'unité de méthanisation

200 k€ d'investissements minimum nécessaires pour un séchage multi-produits (peut fortement varier en fonction de la technologie de séchage et de la taille du sécheur)

POUR PLUS D'INFORMATIONS

- ▶ Guide pour l'optimisation de l'efficacité énergétique des installations biogaz, ATEE Club Biogaz 2012.
- ▶ Le séchage de produits végétaux pour valoriser la chaleur d'une installation de méthanisation, ADEME Bourgogne 2015.



“ L'utilisation d'un sécheur multi-produits doit être étudié au cas par cas et doit permettre de diversifier l'activité de l'exploitant. Par ailleurs, le séchage de différents produits apporte une vraie valeur ajoutée à l'exploitation notamment en terme de nutrition animale. „

SARL Kiko Energy, 230 kWe, séchage multi-produits

— 450 k€ pour le sécheur

— 850 t/an de fourrage, 312 t/an de digestat et 6 000 stères/an de bûches

— 71 à 75 % de la chaleur valorisée pour le séchage multi-produits

SIGLES

AGV	Acides Gras Volatiles	ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
CH₄	Méthane	MB	Matière Brute
CO₂	Dioxyde de carbone	MI	Mètre linéaire
COP	Coefficient de performance	MO	Matière Organique
DCO	Demande Chimique en Oxygène	MS	Matière Sèche
EARL	Exploitation Agricole à Responsabilité Limitée	NH₃	Ammoniac
ECS	Eau Chaude Sanitaire	NH₄⁺	Ammonium
GAEC	Groupement Agricole d'Exploitation en Commun	Tep	Tonne équivalent pétrole

GLOSSAIRE

Acides gras volatiles	Acides gras à courtes chaînes carbonées (moins de six atomes de carbone) : produits de l'acidogénèse dégradés par l'acétogénèse et la méthanogénèse. Ce sont des inhibiteurs à forte concentration.
Anaérobie	Milieu dépourvu d'oxygène.
Cogénération	Procédé qui consiste à produire simultanément de l'énergie thermique (chaleur) et de l'énergie mécanique (transformée en énergie électrique grâce à un alternateur).
Cycle Organique de Rankine	Procédé qui consiste à transformer l'énergie thermique issue de méthanisation en énergie électrique grâce à un cycle thermodynamique.
Déchets organiques	Déchets provenant de matières d'origine animale ou végétale pouvant être valorisés en méthanisation. Ce sont des déchets alimentaires, déchets verts, déchets agricoles, déchets issus des industries agroalimentaires ou de la restauration.
Eau Chaude Sanitaire	Réseau d'eau chauffée à usages domestique et sanitaire (douche, baignoire, évier, lavage...).
Efficacité énergétique	Rapport entre l'énergie réellement valorisée provenant de l'unité de méthanisation, et la production totale d'énergie primaire, sur ce qui a été dépensé pour la faire fonctionner.
Énergies fossiles	Énergies non renouvelables telles que le charbon, le pétrole et le gaz naturel.
Énergie primaire	Énergie disponible et directement exploitable sans transformation (contrairement à l'énergie secondaire qui est obtenue par transformation. L'énergie primaire issue de méthanisation est l'énergie totale contenue dans le biogaz issue de la méthanisation (avant transformation dans le procédé de cogénération).
Fluide caloporteur	Fluide sous forme de gaz ou de liquide, utilisé pour transporter de la chaleur entre deux ou plusieurs sources de température.
Matières sèches	Biomasse totale d'une culture produite sur la base du poids sec. Autrement dit : substance issue de matière organique et qui reste après élimination de toute l'eau qu'elle contient.
Mésophile	Se dit d'un organisme qui se développe à des températures modérées variant entre 25 °C et 40 °C. La méthanisation mésophile est le régime de température le plus appliqué.
Hygiénisation	Procédé consistant à chauffer un produit entre 62 °C et 88 °C, permettant de détruire les bactéries pathogènes sans dénaturer le produit.
Pouvoir Calorifique Inférieur	Énergie thermique dégagée lors de la combustion complète d'une unité de combustible sous forme de chaleur, à l'exclusion de l'énergie de vaporisation de l'eau présente en fin de réaction. Plus le PCI est élevé, plus le produit fournit de l'énergie.
Rendement énergétique	Rapport entre l'efficacité réelle du procédé et l'efficacité théorique maximale qu'on peut attendre d'elle (valeur comprise entre 0 et 100 %).
Thermophile	Se dit d'un organisme qui a besoin d'une température élevée pour vivre, située entre 45 °C et 70 °C. La méthanisation thermophile est un régime de température pouvant être appliqué.

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale.

L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer et du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



CHALEUR ISSUE DE LA MÉTHANISATION DE RÉELLES OPPORTUNITÉS

La méthanisation se développe de plus en plus à la ferme et en collectivités pour produire de l'énergie renouvelable. Lors du montage d'un tel projet, il est essentiel d'optimiser l'installation d'un point de vue énergétique afin de répondre aux enjeux locaux.

Ce guide a pour objectif d'informer et d'orienter sur les différentes voies de valorisation de la chaleur produite par méthanisation. Il a été réalisé sur la base de retours d'expérience, d'exemples concrets et de chiffres clés fournis par des acteurs de terrain et des spécialistes du domaine. Il vous apportera une vision concrète et des pistes d'amélioration pour mieux valoriser la chaleur que vous produisez ou produirez.

Vous retrouverez des généralités sur l'optimisation énergétique d'une unité de méthanisation, sur les technologies de cogénération et sur les voies de valorisation de la chaleur. Agrémenté de treize fiches pratiques détaillant les différents usages de la chaleur, ce guide vous apportera des réponses afin d'élaborer votre projet.

POUR ALLER PLUS LOIN

www.ademe.fr/methanisation

www.ademe.fr/mediatheque

www.ademe.fr/valorisations-energetiques-biogaz-gaz-synthese

Cartographie des unités de méthanisation et de biogaz, SINOE Déchets

www.ademe.fr



ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE L'ENVIRONNEMENT,
DE L'ÉNERGIE
ET DE LA MER

MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION NATIONALE,
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE

8840

ISBN 979-10-297-0468-0

9 791029 704680