



La méthanisation

État des lieux et analyses du
secteur du biogaz au Danemark.



Food & Bio Cluster
Denmark



INDUSTRIENS
FOND
FREMME
DANSK
KONKURRENCEVNE
The Danish Industry Foundation

Le Danemark est l'un des leaders mondiaux de la production de biogaz.

PUBLICATION

Food & Bio Cluster Denmark,
Niels Pedersens Allé 2, 8830
Tjele, Danemark

PHOTO DE COUVERTURE

Nature Energy

AUTEURS

Michael Stöckler, Food &
Bio Cluster Denmark; Bodil
Harder, Daniel Berman
et Thomas Young Hwan
Westring Jensen, Agence
Danoise pour l'Énergie

CONTRIBUTION

Reza Jan Larsen,
Biogasclean; Niels
Østergaard, SEGES; Jørgen
Fink, Nature Energy; Lars
Villadsgaard Tøft, SEGES;
Anna-Marie Bøgh, Kemira

CORRECTIONS

Claus Gunge Mortensen et
Louise Krogh Johnson, Food
& Bio Cluster Denmark

PRODUCTION

Food & Bio Cluster Denmark

RÉALISATION GRAPHIQUE

DANSK DESIGNRUM
Trine Elmstrøm
www.danskdesignrum.dk

Marie Poulsen
Food & Bio Cluster Denmark

AVEC LE SOUTIEN DE La Fondation Danoise pour l'Industrie

DATE
Juin 2020

Table des matières

1.0 Introduction	5		
2.0 La politique Danoise en matière d'utilisation des effluents d'élevage	7		
2.1 Le régime de soutien en faveur du biogaz au Danemark	8		
2.2 Le modèle de marché danois pour l'échange du gaz naturel renouvelable	10		
2.3 Les centrales de méthanisation biologique	12		
3.0 Concevoir une centrale de méthanisation	13		
4.0 La méthanisation	15		
4.1 Planifier la production du biogaz	17		
4.2 Business plan et communication	17		
4.3 Les biomasses disponibles	17		
4.3.1 Les effluents	18		
4.3.2 Les résidus	22		
4.3.3 Les déchets ménagers	22		
4.4 Les usines de traitement des eaux usées	25		
4.5 Le contenu énergétique	25		
4.6 Le bilan massique	26		
4.7 L'organisation	26		
4.8 L'exemple Månsson			
- Un partenaire de production d'énergie verte et biologique	26		
5.0 L'utilisation du biogaz	29		
5.1 Les pertes de production du biogaz	29		
5.2 Les normes de qualité du gaz au Danemark	30		
5.3 Le raffinage	30		
5.3.1 La désulfuration	31		
5.4 La précipitation chimique du sulfure	34		
5.4.1 Le fer en tant que macronutriment	35		
5.4.2 Les oligo-éléments sont des macronutriments	34		
5.4.3 Les processus anaérobies reposent sur la chimie	35		
5.5 La production combinée de chaleur et d'électricité (cogénération)	35		
		5.6 Transport et logistique	36
		5.7 Power-to-X	37
		6.0 L'utilisation du digestat	39
		6.1 La valeur fertilisante et le recyclage	39
		6.2 Le contenu nutritionnel	40
		6.3 La valeur nutritive	40
		6.4 Méthode d'application et pertes en ammoniac	44
		7.0 Réduire les incidences sur l'environnement	47
		7.1 Éviter la propagation des maladies	47
		8.0 Recherche et développement	48
		8.1 Les universités	48
		8.1.1 Université d'Aarhus	48
		8.1.2 Université d'Aalborg	48
		8.1.3 Université du Sud Danemark	48
		8.1.4 Université de Roskilde	49
		8.1.5 Université Technique du Danemark	49
		8.2 Les organismes de recherche	49
		8.2.1 Institut Technologique Danois	49
		8.2.2 Biogas Denmark	50
		8.2.3 SEGES	50
		8.2.4 Food and Bio Cluster Denmark	50
		9.0 Sociétés, fournisseurs et conseillers	50

**Le Danemark a
une des plus fortes
densités d'élevages
au monde.**



1 Introduction

Le Danemark a une des plus fortes densités d'élevages au monde. Le pays est de plus bordé par un environnement naturel fragile, la mer Baltique. Il est donc logique que le Danemark investissent autant d'effort dans le développement de compétences et de technologies innovantes pour permettre la gestion des effluents d'élevage tout en respectant l'environnement.

Plus personne ne nie aujourd'hui l'épuisement des ressources et le réchauffement climatique, et l'on voit l'énorme intérêt qui peut exister à réduire l'émission des gaz à effet de serre issus de la production animale, tout en mettant à profit le contenu énergétique et la valeur fertilisante des effluents. Au Danemark, un grand nombre d'éleveurs de porcs et de producteurs laitiers sont impliqués dans la production de biogaz à partir des fumiers d'élevage, la plupart via des coopératives d'agriculteurs qui disposent de leur propre centrale de méthanisation industrielle.

L'utilisation du lisier et du fumier comme engrais organique fait débat. Et pour cause : les engrais organiques sont une source importante de nutriments, mais ils peuvent aussi avoir un impact négatif sur l'environnement s'ils ne sont pas gérés proprement. Pour garantir une utilisation optimale des nutriments dans les engrais organiques, et ainsi réduire les incidences environnementales, les entreprises danoises n'ont pour cesse d'œuvrer à l'amélioration de leurs techniques d'application. Les instituts de recherche et les universités danoises ont réalisé de nombreux essais sur le terrain pour définir quelles sont les meilleures stratégies d'application. Ces recherches ont beaucoup fait évoluer les

pratiques d'utilisation du lisier et du fumier durant ces 20 dernières années. Dans le même temps, l'UE et ses États membres ont mis en place une réglementation autour de l'utilisation des engrais naturels afin de minimiser l'impact environnemental, celle-ci se répercute ainsi directement sur les techniques d'épandage.

Depuis 2012, la production de biogaz au Danemark a considérablement augmenté et d'après les calculs, 30% du gaz du réseau gazier sera constitué de gaz naturel renouvelable d'ici 2023. Chaque année, plus de 11 millions de tonnes de biomasse sont utilisées pour produire du biogaz et de l'engrais.

Cette publication s'adresse à ceux qui cherchent des moyens novateurs pour répondre au défi actuel qui vise d'une part à réduire le flux des déchets ménagers et issus de l'élevage pour préserver l'environnement, d'autre part à augmenter la production d'énergie renouvelable qu'est le biogaz (ainsi que la production du flux de déchets urbains). Tout cela en répondant à la demande toujours croissante de produits animaux qui découle de l'explosion démographique.

Le Danemark est l'un des chefs de file de la production d'énergie éolienne et solaire dans le monde, mais le Danemark ouvre également la voie en ce qui concerne la méthanisation.



2 La politique danoise en matière d'utilisation des effluents d'élevage

Les politiques strictes et les réglementations gouvernementales ont favorisé le développement de technologies avancées visant à traiter les effluents d'élevage au Danemark.

Les déchets issus de l'élevage ont toujours été vus comme une ressource importante au Danemark. L'agriculture joue un rôle crucial dans l'économie danoise, elle est caractérisée par de larges volumes de production animale qui font par exemple du Danemark, le numéro un mondial en termes d'exportation de viande de porc. Le Danemark produit environ 35 millions de tonnes de déchets d'élevage par an, soit 6 tonnes pour chacune des 5,8 millions de personnes vivant au Danemark !

Les politiques environnementales. Jusqu'au début des années 80, les effluents d'élevage étaient simplement utilisés comme engrais naturel pour les cultures. Avec la pression du marché qui réclamait une hausse de productivité des cultures et une baisse des prix de l'énergie, les effluents remplacèrent alors les engrais minéraux utilisés dans les années 60 et 70. Mais en 1985, le gouvernement danois lança le programme dit NPO en raison du lessivage des nutriments et de la qualité de l'eau qui ne cessait de se dégrader. Le NPO imposa des règles visant à rétablir un équilibre entre la superficie cultivée et le nombre de têtes de bétail, et il fixa une quantité minimum de d'effluents d'élevage qui devait être stocké dans les exploitations. Depuis, des réglementations toujours plus strictes issues de l'UE et du gouvernement danois ont alimenté un développement technologique qui a abouti à l'utilisation d'énormes quantités d'azote (N) et de phosphore (P) des effluents d'élevage, avec quasi la même efficacité que celle des engrais minéraux. L'environnement reçoit ainsi des doses de N et de P beaucoup moindres, et les exploitants font des économies en achetant moins d'engrais.

Mais aujourd'hui, les éléments à prendre en compte pour l'environnement vont bien plus loin : il ne s'agit plus seulement de limiter la pollution environnementale, il se pose également le problème des ressources qu'il faut optimiser (notamment les ressources locales comme les déchets ménagers issus du compostage), car l'épuisement des réserves de phosphore et d'énergie fossile dans le monde est un grave enjeu.

Les politiques en matière de climat. La prise de conscience du réchauffement climatique et de ses graves conséquences, tant au Danemark qu'à l'international, a conduit à la mise en place de réglementations pour en limiter les effets. Depuis 2005, le Protocole de Kyoto des Nations Unies encourage le Danemark à diminuer sa production de CO₂.

Considérations sanitaires. Le paquet «hygiène» de l'UE en date de 2003 rappelle que la sécurité des denrées alimentaires se joue à chacune des étapes de la chaîne d'approvisionnement, du champ à la fourchette, ce qui signifie que chaque exploitation fait partie intégrante de la chaîne d'approvisionnement alimentaire. La sécurité alimentaire prévient la contamination des denrées alimentaires par les microbes, le plastique, les produits chimiques et tout autre corps étranger. Au sein des exploitations d'élevage, garantir une qualité alimentaire irréprochable induit une sérieuse prévention de la contamination des produits, comme le lait qui peut se retrouver contaminé par des effluents d'élevage. Au Danemark, un code d'hygiène des entreprises (qui s'applique à l'ensemble du pays) a été élaboré suite à une coopération entre les organisations d'agriculteurs et les autorités vétérinaires, entre autres. De plus, un certain nombre de mesures privées, qui ont pour fonction la certification de la qualité, ont été mises en place. L'accent mis sur la sécurité et l'hygiène alimentaires ont relevé le niveau d'exigence vis-à-vis des technologies de gestion et de traitement des effluents, et ce afin qu'il n'y ait pas de fuite et que le nettoyage soit facilité.

Les moteurs du marché de la méthanisation au Danemark :

- Des programmes de soutien dédiés du gouvernement
 - Support d'investissement
 - Tarifs de rachat
- Restrictions de l'épandage d'azote et de phosphore sur les champs
- Interdiction de la mise en décharge des déchets organiques (1998)
- Objectif d'au moins 50% de recyclage des déchets ménagers solides d'ici 2023 au niveau national
- Frais de traitement des déchets => Co-digestion
- Programmes de suivi des enjeux techniques
- Biogaz autorisé dans le réseau de gaz naturel
- Obligation de mélanger les combustibles pour les transports retours (5,75-10%)

La production de biogaz au Danemark augmente rapidement.

2.1

Le régime de soutien en faveur du biogaz au Danemark

La technologie danoise du biogaz est en pleine évolution depuis 30 ans, elle est soutenue par différents programmes d'aide et d'accompagnement. Le dernier régime de soutien, lancé en 2012, a encore accéléré ce développement et a permis d'augmenter la méthanisation ainsi que la quantité de gaz naturel renouvelable présent dans le réseau de gaz naturel.

La méthanisation est le chaînon qui relie la production d'énergie et le traitement des effluents et déchets organiques. Au Danemark, les effluents et déchets organiques issus de l'industrie, du secteur privé et des foyers sont généralement co-digérés dans des centrales de méthanisation.

Lorsque le fumier est utilisé pour la production de biogaz, les émissions de gaz à effet de serre provenant de la manipulation et du stockage des fumiers sont réduites. Le biogaz est un gaz renouvelable qui peut remplacer le gaz naturel fossile lorsqu'il est valorisé. De plus, le procédé produit des engrais naturels de haute qualité en tant que sous-produit, qui remplacent les engrais minéraux.

La production de biogaz au Danemark augmente rapidement, elle a été multipliée par quatre entre 2012 et 2020, pour atteindre une production annuelle totale d'environ 20 PJ. Jusqu'à récemment, la majeure partie du biogaz produit était utilisée pour la production d'électricité. Aujourd'hui, le biogaz est toujours plus

Production de biogaz ces dernières années, prévisions et utilisation au Danemark 2012-2020 (PJ).

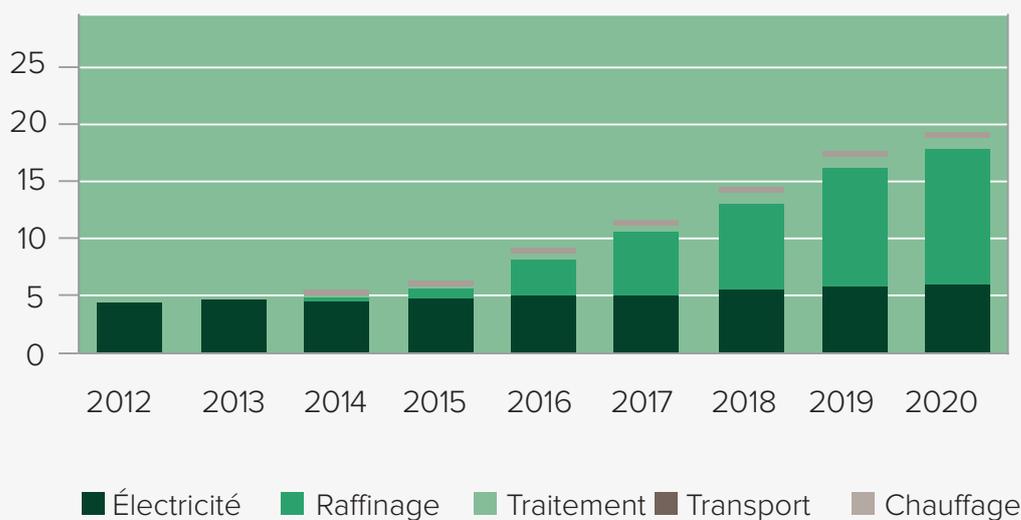


ILLUSTRATION 21

Production de biogaz ces dernières années, prévisions et utilisation au Danemark.

La production de biogaz attendue d'ici 2025

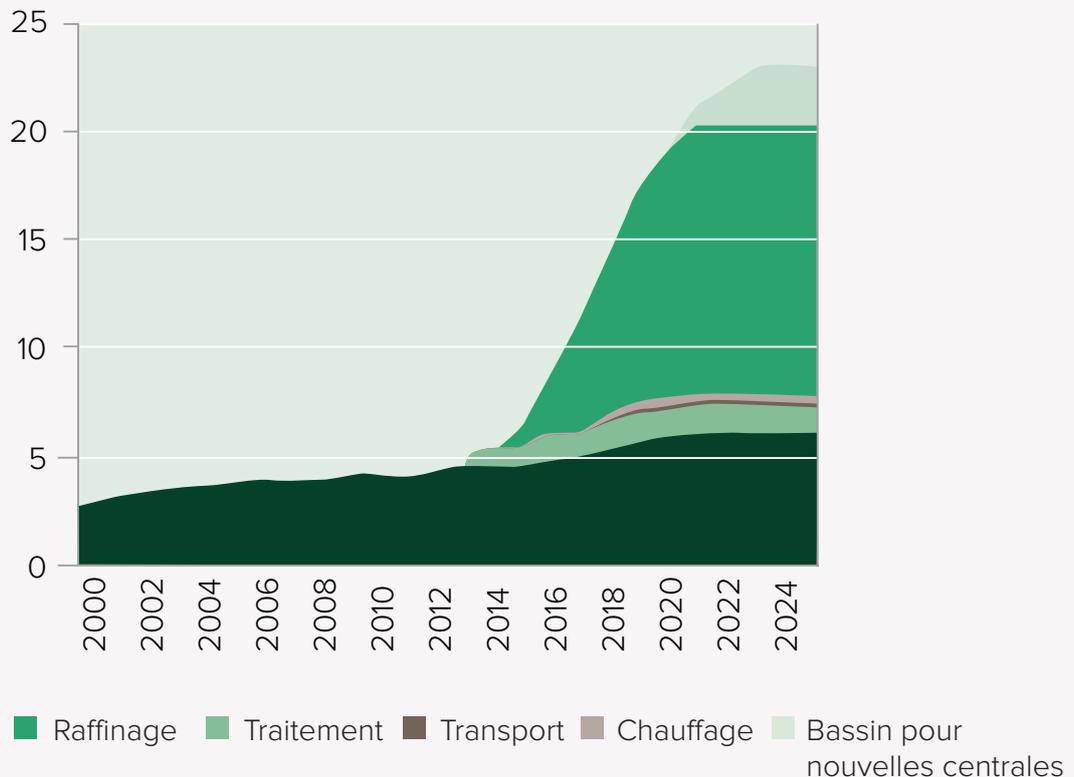


ILLUSTRATION 2.2

Production de biogaz prévue d'ici 2025, mesurée en PJ / an.

amélioré et injecté dans le réseau de gaz naturel, où il remplace le gaz naturel fossile et est utilisé dans les processus industriels pour le transport, le chauffage et l'électricité. En 2018, env. 8% de la consommation de gaz danoise était constituée de biogaz valorisé, ce qui constitue un record en Europe. D'ici 2030, on prévoit que 30% du gaz présent dans le réseau de gaz naturel sera composé de gaz naturel renouvelable. Le tableau 2-1 illustre la production de biogaz passée et attendue, ainsi que son utilisation au Danemark entre 2012 et 2020.

En 2018 au Danemark, 32 centrales de méthanisation produisaient 7,2 PJ (ou 1993 GWh) de biométhane.

Soutien à la production de biogaz. Le développement actuel au Danemark en termes de méthanisation résulte d'un ensemble de mesures incitatives autour de la réglementation environnementale, agricole et énergétique. Parmi ces mesures on retrouve :

- Des programmes de soutien dédiés du gouvernement
- Des taxes sur la consommation des énergies fossiles
- Une restriction vis-à-vis de l'épandage d'azote et de phosphore dans les champs
- Une interdiction de la mise en décharge des déchets organiques depuis 1998
- Des frais de traitement des déchets
- La mise en place d'un dialogue et d'une collaboration entre les principaux acteurs du secteur, à travers des programmes de suivi et un groupe de travail sur la méthanisation.
- Des aides à la recherche, au développement et à la mise en œuvre de nouvelles technologies
- Une limitation de l'utilisation des cultures énergétiques dans la production de biogaz

Les programmes de soutien gouvernementaux. Les différentes utilisations du biogaz pouvant prétendre aux aides sont listées ci-dessous :

- Production d'électricité
- Biogaz purifié délivré au réseau de gaz naturel, ou biogaz épuré délivré au réseau de gaz d'une ville
- Biogaz utilisé dans des processus industriels
- Biogaz utilisé comme carburant pour le transport
- Biogaz utilisé pour le chauffage

Pour être éligible aux subventions, la production de biogaz ne doit pas avoir plus de 5% de cultures énergétiques dans les intrants. Les subventions sont accordées aux utilisateurs de biogaz à différentes fins. Parmi elles on retrouve l'utilisation du biogaz pour la production de gaz naturel renouvelable (GNR). Un programme de soutien aux investissements dans les centrales de méthanisation a existé à un certain moment, mais il a disparu en 2016.

L'augmentation de la production de biogaz, alliée à un tarif du gaz naturel devenu très faible, a considérablement augmenté les frais engagés dans ces programmes d'aides. L'augmentation de ces dépenses a enclenché une décision politique concernant l'accord sur l'énergie (datant de juin 2018) qui a enterré le programme d'aides décidé en 2012 pour tout nouvelle centrale construite après 2020. À la place, un nouveau programme de soutien au GNR doit être défini et mis en œuvre, il inclura le biométhane et tout autre gaz vert comme l'hydrogène gazeux et le gaz méthanisé. Ceci contribuera à assurer l'expansion technologique au Danemark, et à améliorer sans cesse les performances. Une partie du financement sera spécifiquement réservée à la production de biogaz organique.

L'accent mis sur le gaz naturel renouvelable plutôt que sur la production directe d'électricité à partir du biogaz résulte du fait que le Danemark a une grande part d'électricité renouvelable dans son système énergétique, et la situation exigera bientôt de se reposer sur d'autres sources que l'éolien ou le solaire pour produire suffisamment d'électricité renouvelable.

aussi décider de s'inscrire en tant que vendeur de biogaz auprès de l'opérateur danois de transmission du gaz : Energinet.

On exige de plus qu'un vendeur de biogaz signe un accord avec un transporteur, ou qu'il s'enregistre comme tel. Ce sont en effet les transporteurs qui acheminent le biogaz sur le marché du gaz et dans le réseau.

2.2

Le modèle de marché danois pour le commerce du gaz naturel renouvelable

On peut résumer le modèle de marché du gaz naturel renouvelable aux trois éléments suivants :

- Marché : Commerce de l'énergie sur le marché du gaz conventionnel.
- Réseau : le transport physique du gaz naturel renouvelable dans le réseau de gaz.
- Valeur verte : négoce virtuel de la valeur «verte» du gaz naturel renouvelable.

Lorsque le biogaz est injecté et répertorié dans le flux commercial du marché du gaz, il n'est plus possible de différencier le flux conventionnel du gaz naturel fossile de celui du gaz naturel renouvelable. En conséquence, dès que le biogaz entre dans le réseau gazier (c'est-à-dire le flux commercial du marché du gaz) il est considéré comme du gaz naturel et il est alors commercialisé au même titre que le gaz naturel conventionnel, et donc au même tarif.

Commerce et transport du biogaz sur le marché du gaz conventionnel

Pour pouvoir vendre du biogaz sur le marché du gaz conventionnel, le producteur de biogaz ou le propriétaire de l'installation de raffinement du biogaz doit conclure un accord avec un vendeur de biogaz. Il peut

Négoce virtuel

Comme nous venons de l'indiquer, il n'est plus possible de distinguer le biogaz d'un autre gaz lorsqu'il a été injecté dans le réseau gazier. Mais pour que la distinction existe, divers systèmes de négoce virtuel ont été mis en place en accord avec les exigences et la demande du marché.

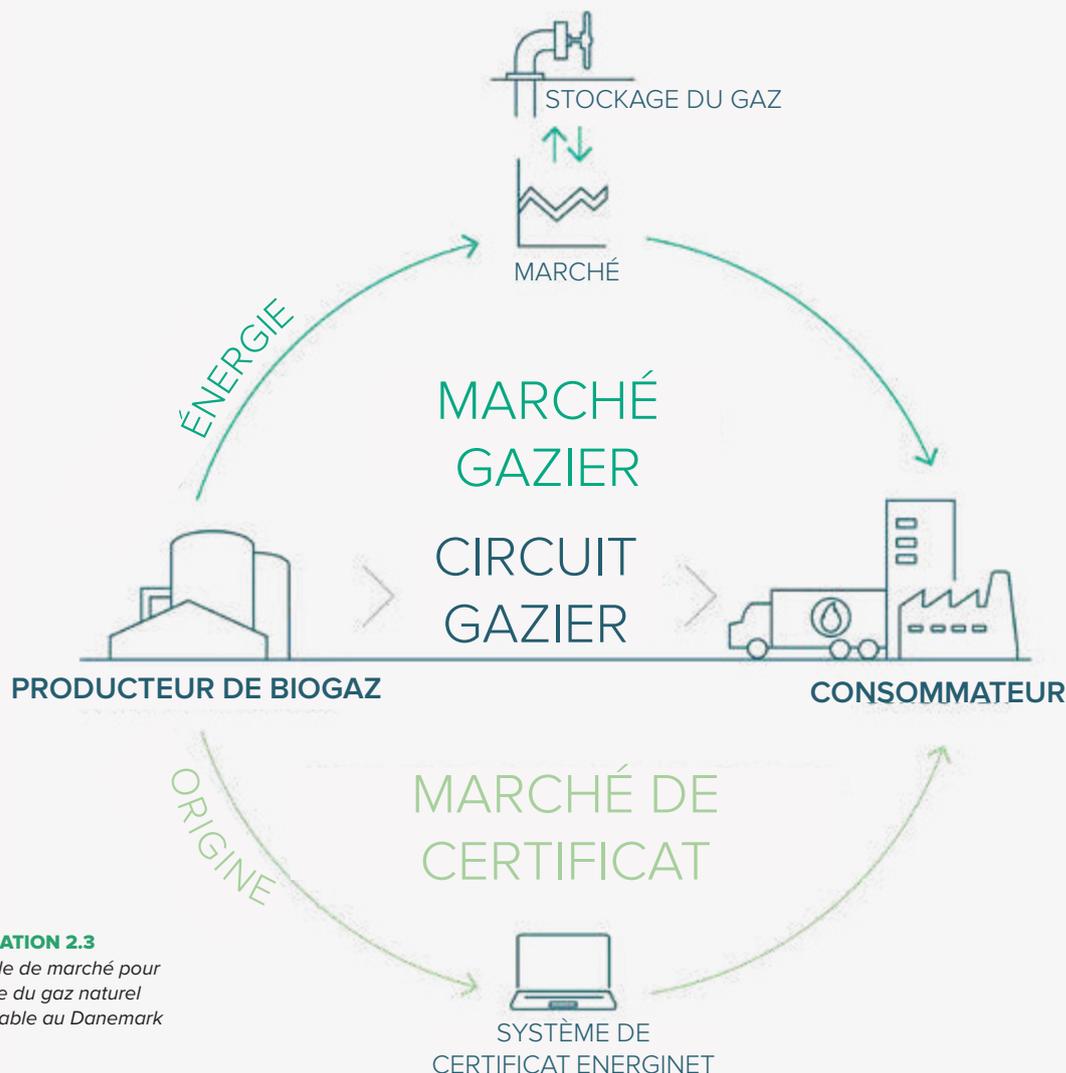


ILLUSTRATION 2.3

Le modèle de marché pour l'échange de gaz naturel renouvelable au Danemark

Garantie des origines

Au Danemark, et dans certains autres pays européens, des registres nationaux de garanties des origines (GO) ont été mis en place afin de répertorier les ressources renouvelables de biogaz qui alimentent le réseau gazier. L'objectif du programme GO est ainsi de vérifier que l'énergie provient bien de sources renouvelables, et que la quantité achetée n'est vendue qu'une seule fois, ce qui prévient tout risque de double comptage.

Les GO sont donc là au service du marché, ils peuvent être utilisés par les privés ou les entreprises qui ont choisi qu'une partie, ou la totalité, de leur consommation de gaz soit couverte par des énergies renouvelables. La grande majorité des achats d'OG ont été effectués par des entreprises dans le cadre de leur politique RSE, et le reste par des privés. Depuis peu, on voit des municipalités qui acquièrent des GO pour accompagner la mise en œuvre de bus au gaz dans leur réseau de transport public.

Les GO sont reconnus par le système communautaire d'échange de quotas d'émission (SCEQE). Cela signifie que les entreprises couvertes par le SCEQE sont autorisées à divulguer les GO afin de contre-balancer les émissions de CO₂ dans leur bilan SCEQE.

Dans l'UE, les fournisseurs de carburants sont tenus d'avoir une certaine proportion de carburants renouvelables dans leur offre. Les bio-tickets ne sont délivrés qu'aux fournisseurs de carburant qui distribuent plus que leur quota minimal, qui peuvent ensuite les échanger avec des fournisseurs de carburant qui eux par contre en ont distribué moins. On part du principe que les OG sont très largement utilisées pour documenter ces restrictions.

La grande majorité des pays de l'UE n'ont pas encore établi de registre pour les GO, et ceux qui l'ont fait suivent tous différentes procédures et n'utilisent pas le même système informatique. Pour le moment, les seuls échanges qui existent entre deux registres se font entre le Danemark et l'Allemagne.

Afin d'augmenter la transparence des transferts transfrontaliers, et les rendre plus fiables, tous les registres européens se sont regroupés en une association qui englobe toute l'Europe, le European Renewable Gas Registry (Registre du gaz renouvelable européen) et qui a pour objectif d'implanter un outil qui sera en capacité de gérer de multiples règles et systèmes informatiques.



ILLUSTRATION 2.4

Centrale de biogaz organique au sein de la société Månsson.

PHOTO Nature Energy

Exemple : la garantie des origines

Un producteur de biogaz améliore le biogaz pour qu'il atteigne la qualité d'un gaz naturel renouvelable, cette opération a lieu dans une usine de raffinage. Le propriétaire de l'usine de raffinage est connecté et injecte le gaz naturel renouvelable dans le réseau gazier. Les sociétés du réseau gazier sont responsables de la distribution physique et de la gestion du gaz. Le contenu énergétique du gaz naturel renouvelable est commercialisé sur le marché du gaz aux mêmes conditions que le gaz naturel conventionnel. La valeur verte (par exemple les biens renouvelables et / ou les réductions de CO₂) est échangée virtuellement en suivant différents schémas, comme les garanties d'origine.

Les garanties d'origine sont émises au producteur de biogaz puis échangées entre les titulaires de compte de garanties d'origine. Lorsqu'un consommateur achète enfin les garanties d'origine qui correspondent à la consommation de gaz, il est assuré d'avoir effectué un achat correspondant à la quantité de gaz naturel renouvelable, et donc à la réduction de CO₂ qui va avec.

Ce n'est pas la production de biogaz en elle-même, mais la production d'engrais naturels.

2.3

Les centrales de méthanisation biologique

Les agriculteurs bio s'intéressent particulièrement aux centrales de méthanisation. Pour eux, la principale motivation n'est pas la production de biogaz en elle-même, mais la production d'engrais naturels.

La centrale Nature Energy Månsson est une importante centrale organique. L'installation peut produire chaque année jusqu'à 6 millions de mètres cubes de biogaz raffiné (du biométhane). Le gaz est acheminé vers le réseau national de gaz naturel, ce qui signifie que plus de 3 600 foyers profitent à l'heure actuelle du gaz neutre en CO₂ issu de la production.

L'usine reçoit principalement des résidus organiques provenant d'élevage de bovins et de volailles, mais également du fumier issu d'élevage de cochons et autres bestiaux. En outre, la biomasse organique provient des déchets issus de la production maraîchère et des herbes de trèfle d'Axel Månsson.

Le rapport entre la biomasse biologique à la biomasse conventionnelle est étroitement surveillé, de sorte que les produits résiduels de la production de gaz peuvent rejoindre la production biologique sous la forme d'engrais naturels qui seront utilisés dans les cultures.

La centrale dispose d'un certain nombre de cuves de vidange, cuves de mélange et cuves de stockage. Les camions déchargent la biomasse, puis chargent les engrais dégazés. L'ensemble de la production a lieu dans des installations fermées. Ce qui veut dire, entre autres, que toutes les cuves sont fermées et que le chargement et le déchargement ont lieu derrière des portes closes. Le centre de production et les réservoirs sont ventilés en permanence, l'air est renouvelé plusieurs fois par heure. Avant que l'air ne soit rejeté à l'extérieur, il passe par des filtres qui le purifient à l'aide de micro-organismes, garantissant ainsi une réduction maximale de l'odeur. Les camions sont nettoyés après chaque visite, et l'usine est entourée d'un haut remblai de terre.

Nature Energy Månsson produit du biogaz à partir des 150 000 tonnes de fumier, herbage de trèfle organique et déchets maraîchers de Axel Månsson A/S.

Le biogaz et l'agriculture biologique forment d'excellents partenaires. Lorsque le lisier, les déchets verts, le trèfle organique et les autres déchets organiques sont traités dans la centrale de méthanisation, la biomasse est dégazée. L'engrais naturel restant génère de meilleurs rendements pour les cultures, il est plus rapidement absorbé par les plantes et il limite, notamment, le lessivage de l'azote en milieu aquatique. Il possède également un niveau d'hygiène élevé.

Les engrais biologiques sont une ressource rare au Danemark, et cela peut devenir problématique quand la demande de produits biologiques augmente. Cependant, en matière de biogaz, les agriculteurs biologiques peuvent devenir totalement autonomes.

2 Conception d'une centrale de méthanisation

Le secteur danois du biogaz s'est spécialisé dans la conception de centrales de méthanisation et dans la production de composants pour ces mêmes installations. Parmi les composants dont la conception et le rôle sont cruciaux pour la productivité et l'économie des centrales de méthanisation, on citera les solutions de prétraitement de la biomasse, les cuves de digestion, les mélangeurs pour les cuves de digestion et les équipements de valorisation.

Une des caractéristiques importantes pour une cuve de digestion, c'est sa capacité à maintenir une température intérieure stable, peu importe la température extérieure, et à réduire au maximum les besoins en chaleur. Le matériau isolant ne coûte pas excessivement cher et il ne doit jamais être trop fin : on recommande une isolation de 20 à 30 cm pour les procédés thermophiles, et une de 15 à 20 cm pour la production mésophile. Une température stable est capitale pour assurer un bon processus de méthanisation.

Thermophile ou mésophile

- La digestion anaérobie thermophile est la technologie la plus utilisée au Danemark
- Avec des temps de rétention courts (<20 jours), le rendement en biogaz thermophile issu de biomasse à dégradabilité lente, comme le fumier de bétail, est environ 30% plus élevé que celui du mésophile.
- La DA thermophile peut devenir problématique avec une haute teneur en ammoniac (> 3 g NH₄-N / L) dans la biomasse

Échelle de température

- Psychrophile (10°C - 25°C)
- Mésophile (25°C - 45°C)
- Thermophile (50°C - 60°C)

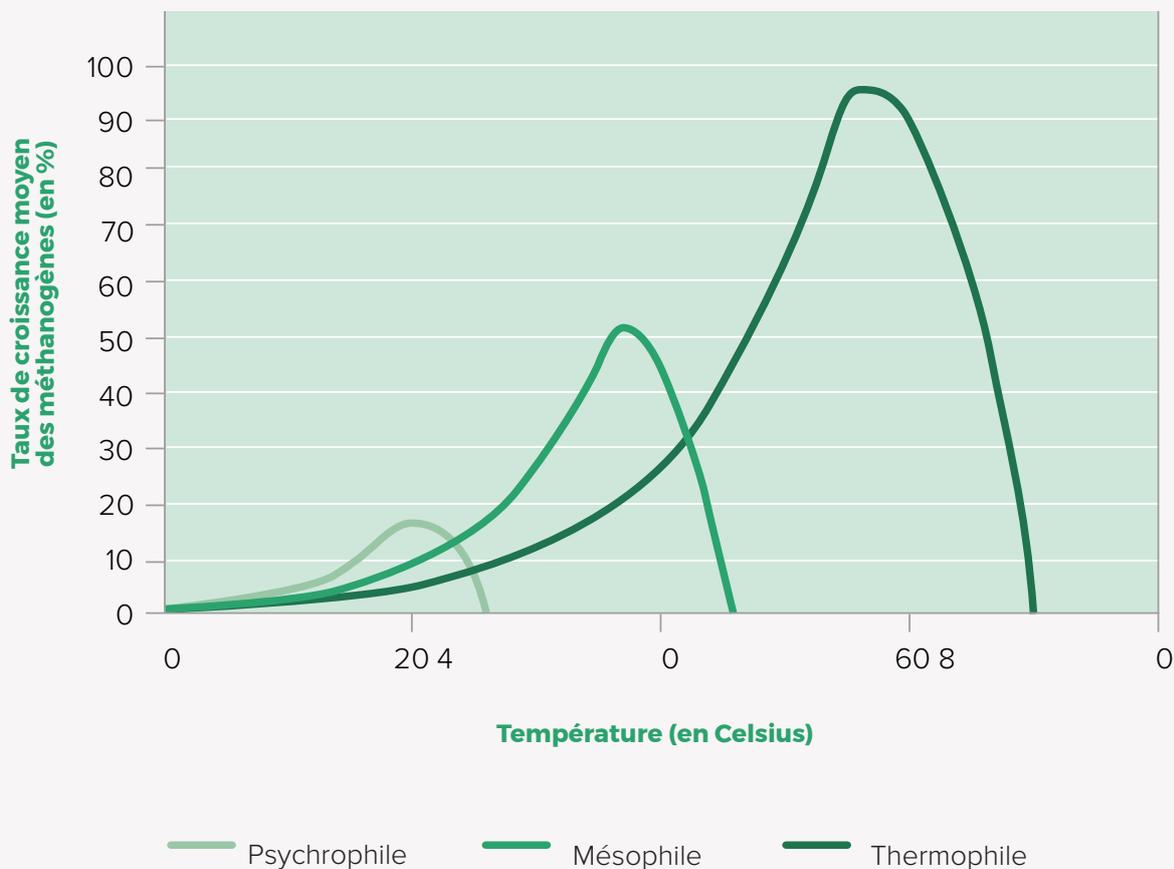


ILLUSTRATION 3.1

Taux de conversion des centrales de méthanisation.



PHOTO Nature Energy

	Mésophile	Thermophile
La méthanisation	Moins sensible aux niveaux élevés d'ammoniac ou autres inhibiteurs	Processus plus rapide et rendement de gaz plus élevé pour une certaine durée de rétention. Sensible aux niveaux élevés d'ammoniac.
Digestat	Inactivation modérée des agents pathogènes	Inactivation élevée des agents pathogènes.
Apport énergétique Modéré		Élevé sauf si l'échangeur de chaleur est inclus - efficace si la chaleur a une valeur élevée.

ILLUSTRATION 3.2
Centrale de Korsko Nature Energy.

Des solutions de prétraitement flexibles offrent au propriétaire la possibilité d'absorber différents types de biomasses, tout en favorisant l'économie de la centrale qui fait ainsi des bénéfices en traitant différents de types de déchets. Les échangeurs de chaleur sont rentables dans les centrales de méthanisation qui ont une valeur thermique élevée, ce qui est précisément le cas pour les installations thermophiles.

Dans de nombreux cas, on décide de construire deux digesteurs branchés en série, un digesteur primaire et un autre secondaire, ce qui permet de produire et de capturer 10 à 15% de biogaz en plus.

Il est important de brasser le contenu dans le digesteur afin de donner aux microbes qui fabriquent le méthane les meilleures conditions possibles, et favoriser la libération du biogaz du digestat. Le mélange est souvent effectué avec des mélangeurs à hélices immergées. La plus grosse partie de la consommation électrique d'une centrale de méthanisation passe dans le brassage et le chauffage des cuves de digestion. Ainsi, l'un des principaux critères pour une production de biogaz performante, c'est un brassage des cuves qui génère le moins de dépense énergétique possible. Le mélange des cuves de digestion avec une biomasse à base de fumier sera moins énergivore si les cuves sont de forme cylindrique, et sont plus hautes que larges (au niveau du diamètre).

Bien construire c'est bien produire.

La séparation des fumiers en fractions liquide et solides est souvent une technologie à part. Mais de nombreux séparateurs de fumier sont installés en lien avec la production de biogaz, que ce soit avant ou / et après la digestion.

4 La méthanisation au Danemark

Au Danemark, la majeure partie de la production de biogaz s'effectue dans de grandes centrales qui possèdent des réacteurs à cuve agitée continu (CSTR) avec co-digestion. Ces centrales possèdent de plus leurs propres installations de raffinage, avec injection du gaz naturel renouvelable directement dans le réseau de gaz naturel.

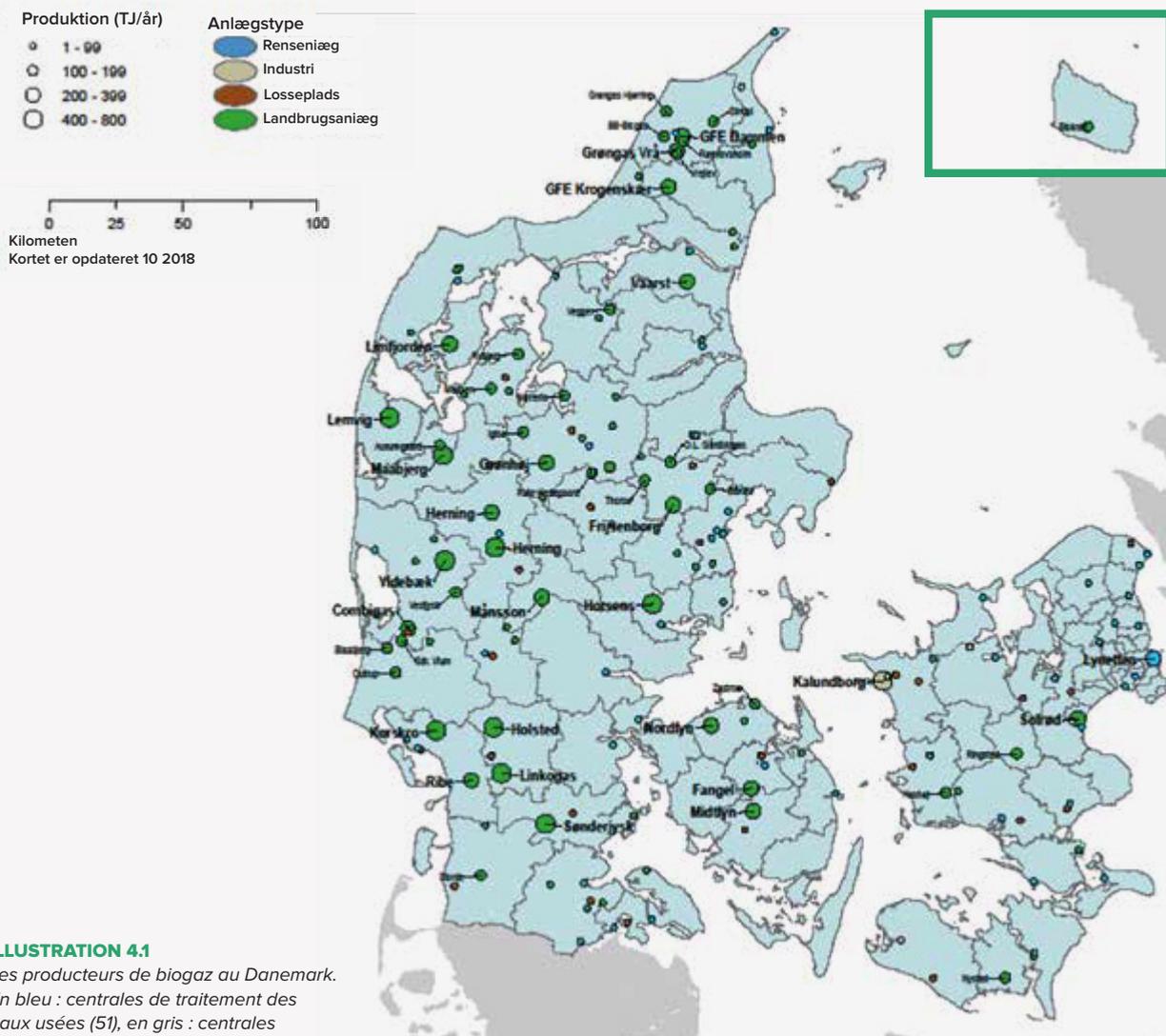


ILLUSTRATION 4.1

Les producteurs de biogaz au Danemark.

En bleu : centrales de traitement des eaux usées (51), en gris : centrales industrielles (4), en marron : décharges (27), en vert : centrales agricoles (83).

Mis à jour en octobre 2018.

**Bien planifier les
choses est capital.**



4.1

Planifier la production du biogaz

Prévoir la construction d'une centrale de méthanisation et organiser les partenariats.

La méthanisation, ou traitement anaérobie, consiste en une série d'opérations biologiques durant lesquelles des micro-organismes décomposent des molécules organiques dans un environnement dénué d'oxygène. Ces réactions entraînent la production d'un mélange de gaz, appelé biogaz, qui est majoritairement composé de méthane et de dioxyde de carbone.

Planifier la production. Une centrale de méthanisation est loin d'être simple de par sa technologie et les opérations qu'elle effectue. Tout cela requiert des connaissances dans différentes disciplines comme l'ingénierie, la biologie, la chimie, le commerce, l'agriculture et la logistique, pour n'en citer que quelques-unes. Collaborer avec une société d'expertise-conseil professionnelle est donc cruciale à la réussite d'une centrale. Les sociétés d'expertise-conseil peuvent être impliquées de différentes manières. Parmi les services les plus importants qu'elles peuvent fournir, on citera les études de faisabilité, les demandes d'approbation environnementale auprès des autorités, la préparation des appels d'offres, la supervision de la construction, de l'installation et de la mise en service de la centrale.

De nombreux partenaires sont impliqués dans le processus de planification, et afin d'optimiser les choses, nous vous conseillons de répertorier les partenaires en question, et leur rôle dans les opérations. Vous trouverez ci-dessous la liste des partenaires généralement investis :

- L'initiateur du projet ou l'investisseur (exploitant, administration, municipalité)
- Le(s) partenaire(s) financier(s)
- Les fournisseurs de biomasse (exploitations, industries, etc)
- Les destinataires du digestat (agriculteurs, municipalités, etc.)
- Les acheteurs de biogaz (centrales de cogénération, sociétés du gaz, industrie, etc.) • Les municipalités locales
- Les acteurs locaux (voisins, hommes politiques, ONG, associations, etc.)
- Les prestataires techniques et conseillers
- **Les entrepreneurs**

Il est toujours utile d'avoir un aperçu de l'organisation et des activités qu'elle induit, vous obtenez ainsi une vue d'ensemble des acteurs impliqués tant à l'intérieur qu'à l'extérieur du processus. L'organisation structurelle doit clairement indiquer qui est responsable de chaque activité, et les personnes concernées. La liste suivante comprend certaines des principales activités du processus de planification:

- Financement de la centrale de méthanisation
- Négociations et demande d'accord des autorités
- Conception de la centrale de méthanisation (site, bâtiments et technologies)
- Négociations et accords avec les fournisseurs de biomasse
- Négociations et accords avec les destinataires du digestat
- Négociations et accords avec les acheteurs du biogaz
- Négociations avec les acteurs locaux
- Processus de construction
- Accords et permis des autorités

Il est recommandé d'avoir des groupes de travail pour chaque activité, ainsi qu'un comité de pilotage général pour coordonner les principales phases du processus et faire appliquer le calendrier en ce qui concerne la prise de décisions importantes. Au Danemark, il est fortement recommandé d'impliquer les acteurs locaux dans ce groupe. Beaucoup de ces activités sont inter-dépendantes. Il est donc capital de ne jamais perdre de vue la coordination des activités afin d'optimiser le déroulement des opérations. Le processus d'approbation est complexe et prend du temps, il est donc indispensable de disposer des bonnes informations au bon moment.

4.2

Business plan et communication

La gestion de la mise en place d'une future centrale de méthanisation est naturellement centrée sur ses aspects techniques, ce qui implique des descriptions techniques et des schémas qui doivent être envoyés aux différents fournisseurs et entrepreneurs. En addition, nous vous conseillons de fournir ces éléments aux autres partenaires.

Les commentaires d'un partenaire peuvent révéler un besoin d'informations différentes de celles proposées aux autres groupes d'acteurs. Les partenaires financiers s'intéressent à l'analyse de rentabilisation et aux calculs qui l'ont produite. Les fournisseurs de biomasse et les destinataires du digestat s'intéressent à l'économie, la logistique et la qualité du digestat, etc. Les autorités cherchent à connaître les bénéfices en termes environnementaux et d'énergie renouvelable, ainsi que les retombées sur la vie locale et l'environnement en général. Les élus locaux, les voisins et les partenaires s'intéressent aux résultats et conséquences possibles sur la vie locale. Les informations données peuvent donc évoquer les emplois créés, l'énergie produite localement, la baisse des prix de l'énergie, les répercussions en matière de trafic et d'odeur, ainsi que l'impact dans le paysage.

La liste suivante comprend différentes informations qui peuvent améliorer la communication au sein du projet et autour du projet :

- Un business plan adressé aux investisseurs et aux partenaires financiers.
- Une publication informelle qui décrit la centrale de méthanisation et qui vise les investisseurs, les partenaires financiers, les élus locaux, les voisins, les acteurs locaux (par exemple les centrales de référence).
- Une communication professionnelle autour de la centrale de méthanisation, avec description des intrants, des extrants, des technologies choisies, de l'économie etc. Le public visé est constitué des fournisseurs de biomasse et des destinataires du digestat.
- Une communication professionnelle décrivant la technologie, la production et la quantité de gaz de la centrale de méthanisation, qui s'adresse aux acheteurs du biogaz.
- Les demandes légales d'accord et d'autorisations adressées aux autorités.
- Les descriptions techniques et les schémas destinés aux entrepreneurs et aux prestataires techniques.

L'ensemble des documents peut inclure des descriptions, des schémas, des visuels, etc. qui peuvent être utilisées pour les différentes publications que vous adresserez à chacun des partenaires.

L'objectif est d'adapter les informations en fonction des besoins de chaque type de partenaire et de fournir à chacun les éléments les plus intéressants possibles, tout en leur donnant un bon aperçu. Cette transparence est la preuve que l'organisation se soucie de tous les aspects de la centrale de méthanisation.

4.3

Disponibilité de la biomasse

Le rendement potentiel en biogaz par m³ de lisier de porc ou de bétail est limité, il est donc judicieux d'un point de vue économique de proposer une co-digestion avec des biomasses à meilleure teneur énergétique.

Cependant, en pratique, il existe de grandes variations de productivité réelle dans les centrales de méthanisation en raison de certaines différences :

- Configuration technologique, y compris les technologies de pré-traitement;
- Qualité des substrats individuels et de l'ensemble du mélange des substrats;
- Gestion de la centrale

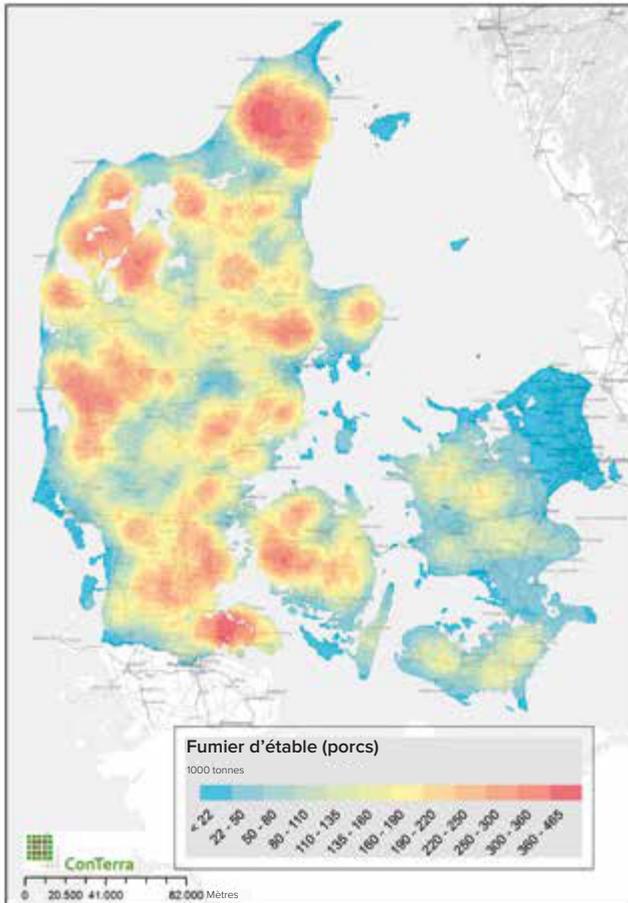


ILLUSTRATION 4.2
Distribution du lisier de porcs au Danemark.
PHOTO Conterra.

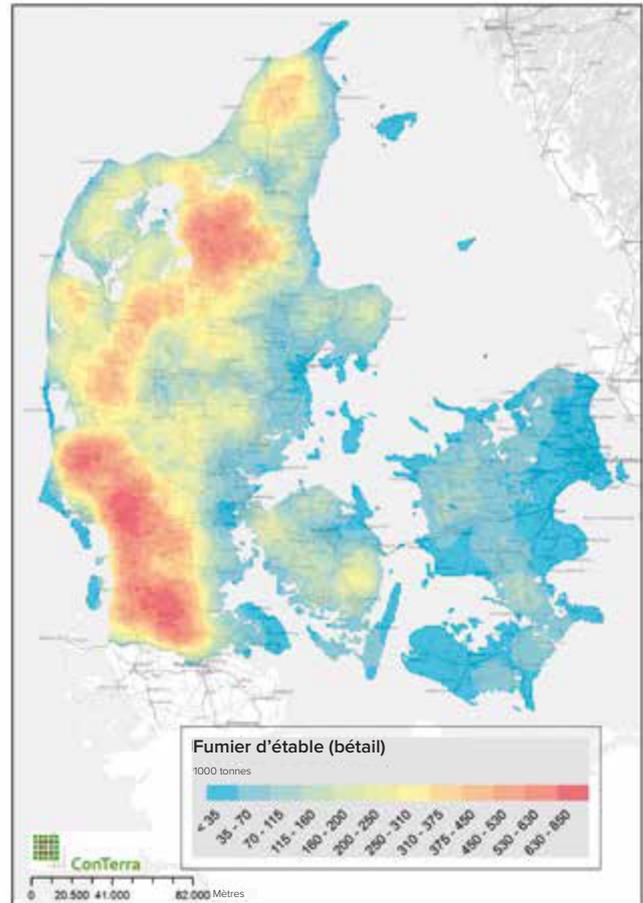


ILLUSTRATION 4.3
Distribution du fumier de bovins au Danemark.
PHOTO Conterra.

**Au Danemark,
l'élevage
d'animaux est
majoritairement
concentré dans
l'Ouest du pays.**

Parmi les avantages de la co-digestion du lisier et des déchets industriels organiques on retrouve :

- Une production de gaz améliorée. Rendement de biogaz plus élevé par m3 de matière première lorsque les déchets organiques riches en énergie sont digérés avec du lisier.
- Processus de digestion stable La co-digestion en présence de lisier rend la digestion des déchets plus stable.
- Les avantages de la centralisation. Les installations centralisées reçoivent les déchets issus de nombreux secteurs, elles sont donc plus simples à gérer que plusieurs digesteurs éloignés les uns des autres. Elles permettent également de faire de nouveaux bénéfices sur les flux de déchets récupérés.
- Utilisation et recyclage des nutriments. Les agriculteurs ont la responsabilité d'utiliser à terme le produit comme engrais. C'est un bon système de recyclage des déchets, respectueux de l'environnement et économique.

4.3.1 Les effluents

La technologie danoise du biogaz est internationalement reconnue pour sa capacité à traiter les mélanges de substrats à dominance de fumier de bétail, elle garantit de plus une productivité énergétique nette élevée où l'énergie est utilisée efficacement, et elle peut s'adapter à toutes les tailles de centrales, que ce soit d'exploitation ou industrielles.

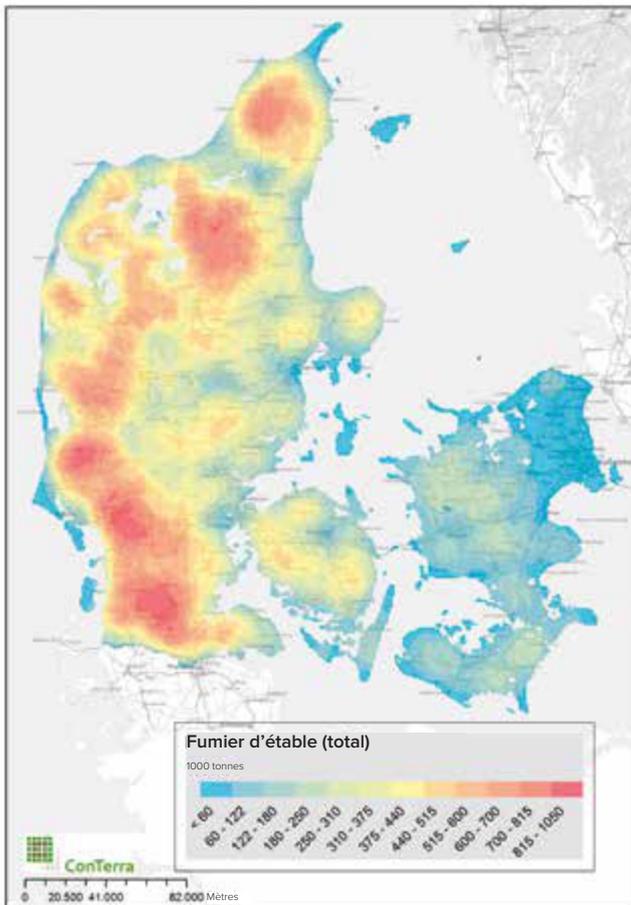


ILLUSTRATION 4.4
Distribution de la totalité du fumier d'élevage au Danemark.
PHOTO Conterra.

Le fumier de bétail est une matière organique constituée principalement d'un mélange plus ou moins homogène de fèces, d'urine et de litière du bétail. Il inclut également, et dans une moindre mesure, tout ce qui constitue les déchets d'un élevage comme les résidus de fourrage, les effluents d'ensilage et les eaux de traitement.

Les principales sous-catégories de fumier de bétail sont :

- Le lisier
- La litière / litière profonde
- Le fumier liquide
- Le fumier solide

Les termes associés au fumier de bétail sont communément utilisés, et n'ont jamais été officialisés par la moindre législation. La législation danoise exige que les fermes d'élevage aient une capacité de stockage permettant de tenir au minimum 9 mois, ce chiffre a été calculé d'après les valeurs officielles par défaut de la production de fumier. Un lieu de stockage à la fois sûr et suffisamment grand est indispensable pour gérer correctement le fumier : il préserve la qualité du fumier, et en ce qui concerne le lisier, il peut être utilisé comme engrais sur les cultures au printemps lorsque les plantes ont besoin des nutriments.

Production d'énergie à partir du fumier de bétail. À ce jour, environ 20% du fumier de bétail danois est déjà utilisé pour produire de l'énergie. Ce chiffre est la preuve que le Danemark est l'un des pays leaders en ce domaine à l'échelle de la planète, mais aussi qu'il existe un très grand potentiel qui n'est pas encore mis à profit.

La valeur d'un fumier en termes énergétiques dépend principalement de sa teneur en matière organique, cendres brutes, eau et de sa fraîcheur. D'une manière générale, tous les types de fumier de bétail brut conviennent très bien à la digestion anaérobie, aussi bien qu'à certaines formes transformées de fumier brut, notamment les solides de séparation.

Pour calculer la production de biogaz on ajoute généralement les solides volatiles (SV). On part toujours du principe, sauf si des analyses spécifiques existent, que la teneur en SV du fumier de bétail représente 75% de la teneur en matière sèche (MS).

Traitement du fumier

Cette section est une introduction aux règles et pratiques communément admises dans le secteur de l'engrais naturel. Le guide détaille comment utiliser la litière épaisse de lisier et la biomasse dégazée pour rentabiliser au maximum les nutriments tout en limitant au maximum l'impact sur l'environnement. Au Danemark, une meilleure gestion du fumier a permis de réduire la consommation d'azote dans les engrais minéraux d'environ 50% au cours des 25 dernières années. Les éléments clés qui ont permis cette diminution sont les suivants : un stockage sûr, un calendrier d'application qui suit les recommandations et les normes d'utilisation des engrais, et la mise en œuvre de technologies innovantes pour la purification de l'air et l'épandage aux champs. Tout cela permet aux agriculteurs danois d'éviter de nombreuses dépenses.

**Le biogaz Madsens
avec bioréacteurs,
usine de raffinage et
centre de stockage
pour la biomasse.**



Que le fumier de bétail soit utilisé pour la production d'énergie ou bien autre chose, l'objectif est toujours que le fumier généré par un système donné ait une qualité aussi élevée que possible, et que cette qualité soit préservée de par la manière dont il est traité.

Un fumier de haute qualité induit généralement une concentration aussi élevée que possible. Ceci est particulièrement vrai lorsque le fumier est utilisé pour la production d'énergie sous la forme de biogaz, car il se base sur la teneur en matière organique.

La matière organique contenue dans les effluents d'élevage dépend, dans une certaine mesure, de la ration alimentaire distribuée, qui comprend la teneur en sel et en sucre de l'aliment, les normes relatives au phosphore et aux protéines, et l'utilisation d'acide benzoïque et / ou de phytase dans l'alimentation des porcs. Mais le type et la qualité du fumier d'élevage produit dans une unité d'élevage sont très largement déterminés par la manière dont sont conçus les bâtiments ainsi que les technologies mises en œuvre pour traiter le fumier.

Au Danemark, il y a tout à gagner à utiliser des technologies qui permettent de préserver la qualité du fumier depuis le moment de l'excrétion jusqu'à celui du stockage. En effet, ce qu'il faut éviter absolument c'est l'évaporation de l'ammoniac, car avec lui la moitié de l'azote contenu dans le fumier peut être perdu dans les systèmes de ventilation, ce qui représente une grosse perte économique pour l'agriculteur. L'ammoniac pollue l'air et l'environnement, il met donc en danger la santé de l'homme et de l'animal. Autre chose importante, il faut éviter de faire s'écouler le fumier en utilisant trop d'eau pour le nettoyage ou l'évacuation.

Stockage du gaz

Le fumier solide et la litière profonde sont stockés sur des plates-formes à lisier en béton qui possèdent des drains et sont posés soit sur des murs de soutien ou soit un rebord en béton d'au moins 2 mètres pour éviter les fuites et infiltrations. Le lisier est habituellement stocké dans des réservoirs.

Au Danemark, pour entreposer le lisier on utilise en général des cuves rondes, construites à partir d'éléments préfabriqués en béton. Cette solution est considérée comme étant la moins coûteuse, compte tenu de la durée de vie de ce type de cuve, et elle représente un moyen sûr pour stocker le lisier.

Pour les élevages de porcs et de visons, toute nouvelle cuve à lisier installée à moins de 300 mètres d'un lieu de résidence, doit être recouverte d'une housse sous la forme d'une toile flottante, housse de tente ou équivalent. L'installation d'un couvercle fixe peut être évitée si une croûte naturelle s'est formée à la surface du fumier et qu'elle est régulièrement surveillée.



ILLUSTRATION 4.7

L'installation favorise l'économie circulaire en traitant tous les types de déchets (ménagers, commerciaux et industriels) organiques triés à la source - les déchets alimentaires. Ce processus efficace et fiable assure l'élimination des impuretés non organiques comme les sacs en plastique, les canettes en métal, les bouteilles en plastique ou tout autre emballages contenu dans les déchets alimentaires, pour créer finalement une biopulpe extrêmement pure. PHOTO Gemidan.

4.3.2 Les résidus

Les résidus issus de la production alimentaire et de la transformation de la biomasse peuvent devenir des substrats majeurs pour la méthanisation. Au Danemark, pratiquement tous les résidus organiques sont collectés et utilisés, sinon à d'autres fins, pour produire du biogaz.

4.3.3 Déchets ménagers

La stratégie de ressources du Danemark a pour objectif de recycler 50% des déchets ménagers. Pour atteindre ce résultat, la plupart des municipalités danoises sont tenues de trier à la source les déchets organiques ménagers, et de les collecter à part afin qu'ils soient ensuite recyclés.

Pour pouvoir utiliser les déchets ménagers triés à la source, il a donc fallu développer une technologie permettant de transformer la biomasse en une pulpe pouvant être utilisée ensuite dans les centrales de méthanisation. L'usine ECOGI de la société Gemidan est issue de cette technologie.

La matière première traitée produit un substrat pur qui doit être converti en biogaz par les centrales à DA locales. La flexibilité du processus et la pureté du substrat étaient les objectifs de performance cruciaux dans le développement d'ECOGI. La technologie de prétraitement a fait l'objet de tests de performance indépendants, et elle s'est avérée être très efficace dans le traitement des matières premières hautement contaminées comme le plastique, le verre ou les métaux. La pureté du substrat a été testée d'une manière indépendante, elle est dénuée de contamination physique non organique à 99,96%. En empêchant la pollution des terres agricoles par le plastique et en aidant à préserver la qualité de l'eau, cette technologie est le fer de lance d'une économie circulaire soucieuse de l'environnement.

La pâte organique produite est utilisée pour générer de l'énergie (biogaz) et du digestat, un engrais riche en nutriments qui est utilisé sur les terres agricoles. Pour rendre le processus encore plus durable, l'eau est réutilisée à chaque étape des opérations. L'eau de pluie est collectée afin de réduire la quantité d'eau de ville nécessaire au traitement des déchets alimentaires, qui s'élève à 25 000 mètres cubes chaque année. En termes de déchets alimentaires, l'économie circulaire est bien optimisée.





ILLUSTRATION 4.6

ECOGI, l'usine de prétraitement des déchets alimentaires de Frederikshavn, au Danemark. L'installation appartient et est exploitée par le groupe de gestion des déchets Gemidan. L'usine a une capacité de traitement de plus de 50 000 tonnes. Les matières premières incluent les déchets alimentaires triés à la source provenant des ménages, de l'industrie et des entreprises de la région. **PHOTO** Gemidan.

Les déchets alimentaires sont vus comme une ressource fondamentale pour la production de biogaz et d'engrais au Danemark.



ILLUSTRATION 4.8

L'usine de prétraitement de Frederikshavn, au Danemark. **PHOTO** Gemidan.



ILLUSTRATION 4.9

Biopulpe prête à être envoyée dans le digesteur.



4.4

Les usines de traitement des eaux usées

Les usines de traitement des eaux usées (UTEU) font face à un changement de contexte, en effet l'utilisation des ressources et leur efficacité est devenue aussi importante que la protection de l'environnement. Le traitement des eaux usées est énergivore. En même temps, les eaux usées elles-mêmes contiennent de grandes quantités d'énergie et de nutriments qui peuvent être utilisées aussi efficacement que jamais grâce aux avancées des dernières années.

Plusieurs stations d'épuration ont prouvé qu'elles peuvent produire de l'énergie brute. Ce qui signifie que ces usines produisent plus d'énergie qu'elles n'en consomment. Elles font tout pour utiliser le maximum de carbone organique possible pour produire du biogaz / de l'électricité / du chauffage, tout en réduisant leur consommation d'énergie en optimisant les opérations.

Au Danemark, un certain nombre d'usines de traitement des eaux usées ont un système anaérobie (production de biogaz) pour leur production de boues, en partie issue des boues primaires, et en partie des surplus de boues biologiques.

La plus grande différence entre une production de biogaz dans une UTEU et dans une centrale de méthanisation agricole, c'est que pour cette dernière, la biomasse décomposée est séchée mécaniquement dans la centrale.

Ceci diminue considérablement la teneur en matière sèche de la biomasse qui doit être traitée ensuite, et réduit le coût des transports. La déshydratation des boues dégazées alimente la charge des usines de traitement des eaux usées.

4.5

Le contenu énergétique

Lorsqu'on organise l'installation d'une nouvelle centrale de méthanisation tout en continuant une exploitation en cours, il est important de bien connaître le potentiel en biogaz en fonction des biomasses disponibles. Les biomasses les plus largement utilisées, comme le fumier et les boues d'épuration, ont un contenu énergétique limité. Pour que l'opération soit rentable, il peut donc s'avérer nécessaire de compléter la matière première de la centrale avec des biomasses qui possèdent un contenu énergétique beaucoup plus élevé.

De plus, la biomasse utilisée pour l'alimentation doit être composée de sorte que tous les nutriments nécessaires seront présents et en quantités suffisantes.

Les concentrations inhibitrices de différentes substances au sein du bioréacteur, comme l'ammoniac, doivent également être évitées. Les pourcentages de production moyens de biogaz selon différentes biomasses sont indiqués dans l'encadré ci-dessous.

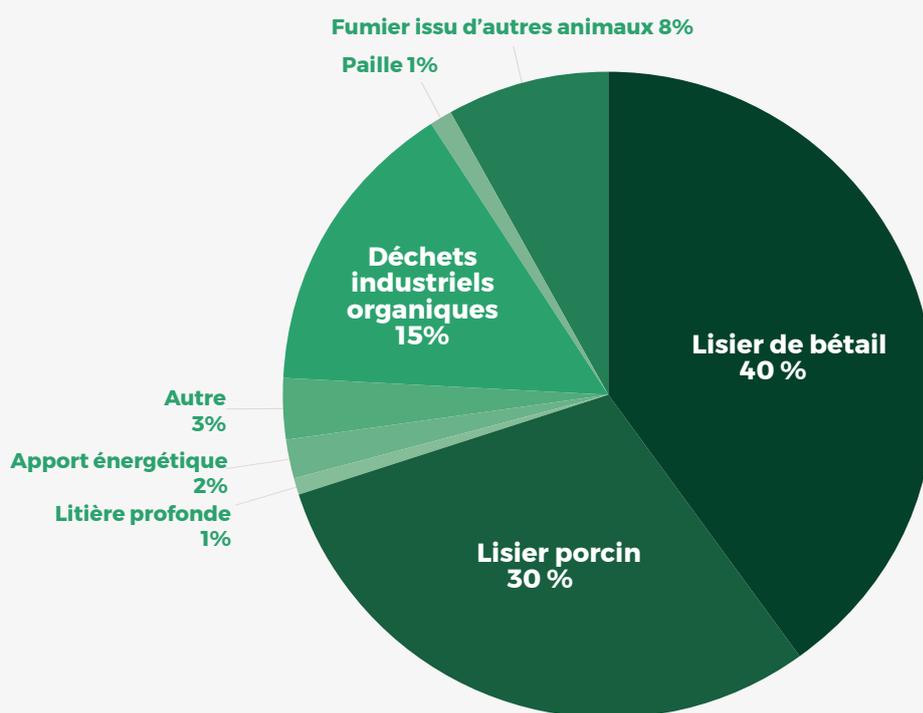


ILLUSTRATION 4.10

Production attendue de biogaz en fonction du mélange de matières premières dans les centrales de méthanisation agricoles en 2025

Matière organique	Processus	Rendement, ml de biogaz/g	ml de CH ₄ /g	CH ₄ %
Cellulose	$(C_6H_{10}O_5)_n + n H_2O \rightarrow 3nCH_4 + 3nCO_2$	830	415	50,0
Protéine	$2C_5H_7NO_2 + 8H_2O \rightarrow 5CH_4 + 3CO_2 + 2(NH_4)(HCO_3)$	793	504	63,6
Lipides	$C_{57}H_{104}O_6 + 28H_2O \rightarrow 40CH_4 + 17CO_2$	1444	1014	70,2

4.6

Le bilan massique

La teneur en éléments nutritifs du digestat des centrales de méthanisation dépend entièrement de la biomasse qui y est introduite. Un calcul du bilan massique des nutriments est toujours effectué lors de la prévision d'une production de biogaz.

La co-digestion est importante car :

- Il doit toujours y avoir suffisamment de biomasse disponible
- La composition nutritionnelle est assurée
- Le potentiel du biogaz est optimisé
- Le processus de méthanisation est stabilisé
- Les nutriments sont recyclés et réutilisés

La logistique. Le transport des effluents d'élevage et du digestat entre les fermes d'élevage et l'usine de biogaz représente beaucoup d'activité pour les centrales de méthanisation de taille industrielle. Il est donc indispensable que les camions utilisés aient une forte capacité de chargement pour minimiser les transports. Il faut aussi qu'ils soient simples à nettoyer entre chaque sortie afin de limiter le trafic, les nuisances sonores ainsi que les risques de propagation des maladies. Et pour finir, leur contenu ne doit pas couler lors du transport ou du chargement / déchargement.

4.7

L'organisation

Les centrales de méthanisation agricoles sont organisées en tant que producteur de biogaz à l'échelle d'une exploitation ou à l'échelle industrielle. Les centrales de méthanisation à l'échelle industrielle se caractérisent par leur grande taille; elles traitent en moyenne plus de 100 000 tonnes de fumier de bétail et autres substrats chaque année au Danemark. Elles sont souvent organisées sous la forme de coopératives d'agriculteurs ou, dans certains cas, elles sont gérées par des partenaires comme les sociétés d'énergie. Ce genre de centrale traite en général les effluents provenant de 40 à 100 exploitations, voire plus, et elles emploient plusieurs personnes pour exploiter l'installation. Le principal avantage des centrales de méthanisation de taille industrielle, c'est qu'elles peuvent utiliser l'économie qui va avec, ce qui les rend capables d'investir dans des technologies encore plus efficaces. C'est un facteur important pour les agriculteurs qui font transformer leur fumier, car ils n'ont pas besoin d'investir leur propre capital dans les centrales, en dehors d'un simple dépôt. De plus les centrales font aussi office de centres régionaux pour la redistribution du fumier digéré en anaérobie, le digestat.

Ce qui caractérise les centrales de méthanisation à l'échelle d'exploitation c'est qu'elles ne reçoivent les effluents que de quelques fermes d'élevage et qu'elles sont considérées comme une exploitation d'un point de vue législatif et économique. Les centrales à l'échelle d'exploitation sont particulièrement intéressantes pour les grandes fermes d'élevage, qui, de par leur taille, peuvent utiliser une certaine économie d'échelle et qui, grâce à la centrale peuvent garantir à leur voisinage une réduction des nuisances liées à la production.

Les bénéfices d'une centrale de méthanisation à l'échelle d'une exploitation :

- La prise de décision est plus simple et plus rapide, ce qui vaut également pour la mise en place de la centrale
- L'exploitation peut produire son propre chauffage, ce qui est particulièrement avantageux pour les élevages de porcs
- Le transport est minimisé

4.8

L'exemple Månsson

- Un partenaire de production d'énergie verte et biologique

En 2017, Nature Energy, l'un des plus importants fabricants de biogaz au monde, s'est associé au grand agriculteur biologique Axel Månsson. Ensemble, ils transforment les déchets en gaz vert. La centrale de méthanisation va être agrandie et pourra produire suffisamment de biogaz pour chauffer environ 12 000 foyers avec du gaz vert et neutre en CO₂.

Au Danemark, le biogaz est considéré comme un élément fondamental pour une transition vers une société plus durable. Dans les rapports issus du Conseil danois sur le réchauffement climatique et les Partenaires danois pour le climat, le biogaz est mis en avant comme étant un moteur clé de la transition verte au Danemark. Les partenariats représentent le milieu des affaires danois, tandis que le Conseil est un organe constitué d'experts indépendants. Les recommandations de ces deux organes sont considérées comme essentielles pour la politique climatique qui s'annonce au Danemark.

Avec l'éolien et le solaire, le biogaz est le troisième élément fondamental qui permettra de se diriger vers un avenir plus vert. Dans cette optique, Nature Energy et Axel Månsson se sont associés en 2017 pour construire une centrale de méthanisation totalement biologique.

En 2019, les deux entreprises ont décidé d'agrandir la centrale, car de plus en plus d'agriculteurs choisissaient de les fournir pour contribuer à la production de biogaz. En plus de l'expansion, une ligne de production a été ajoutée séparément afin d'augmenter de 170 000 tonnes le traitement du fumier conventionnel et des déchets alimentaires. La production de gaz vert a été augmentée et de nouveaux emplois ont ainsi été créés.

38 exploitations au total délivrent leurs effluents à la centrale. La production totale passera à 17 millions de Nm³ de méthane lorsque l'expansion sera pleinement opérationnelle. Ce chiffre correspond à l'approvisionnement en biogaz neutre en CO₂ pour environ 12 000 foyers.

Afin d'éviter de mélanger la bio-fertilisation biologique et conventionnel, la ligne biologique et la ligne conventionnelle fonctionnent séparément.



ILLUSTRATION 4.11

Centrale de méthanisation Månsson. PHOTO Nature Energy

Le biogaz est un très bon exemple d'économie circulaire

La centrale de méthanisation organique traite principalement les matières organiques comme, entre autres : le fumier issu des fermes laitières ou des élevages de poules pondeuses, l'herbe à trèfle et les déchets végétaux provenant de la production de Axel Månsson.

Une fois l'expansion terminée, la centrale transformera chaque année 255 000 tonnes de biomasse en gaz vert, et l'engrais biologique qui en découlera sera donné aux exploitants bio.

Nature Energy analyse les nutriments afin d'aider les agriculteurs à planifier la fertilisation de leurs terres, et aussi pour veiller à ce que les réglementations sur l'azote et le phosphore soient bien respectées.

De plus, la centrale de méthanisation redistribue les nutriments afin d'optimiser l'utilisation de l'engrais biologique et réduit ainsi les achats d'engrais naturel ou minéral.

Le lisier est collecté par les propres camions de Nature Energy dans un rayon moyen de 15 à 20 km. Lorsque le camion récupère le lisier dans une exploitation, l'entreprise distribue le digestat liquide en même temps. Dans un cas comme celui-là, le biogaz est un excellent exemple d'économie circulaire.



À propos de Axel Månsson

- Axel Månsson produit des légumes et des œufs depuis plus de 40 ans, c'est l'un des plus grands maraichers au Danemark avec 1 100 hectares.
- La moitié de la production est biologique. De plus, l'entreprise produit chaque année 45 millions d'œufs biologiques issus de 140 000 poules.

PHOTO Nature Energy

- Nature Energy est l'un des plus grands producteurs de biogaz au monde. Il transforme, entre autres, le fumier et les déchets ménagers pour produire un bio-engrais et un gaz vert et respectueux du climat. Ce qui contribue à réduire les dommages environnementaux des gaz issus de l'agriculture, tout en réduisant les besoins en gaz naturel fossile.
- À partir de 2021, Nature Energy transformera chaque année plus de 4 700 000 tonnes de fumier et autres biomasses en un bio-engrais valorisable, et produira en même temps environ 170 millions de Nm³ de méthane par an. Ce qui correspond aux besoins en énergie neutre en CO₂ de 120 000 foyers. Nature Energy possède actuellement 10 centrales au Danemark et exploite deux usines à l'international.



ILLUSTRATION 4.12

Centrale de valorisation du biogaz au sein de l'usine Mansson de Nature Energy. Une centrale de méthanisation qui reçoit la matière organique issue de l'agriculture locale. PHOTO Nature Energy

5 L'utilisation du biogaz

Le biogaz est produit et utilisé au Danemark depuis des années.

Depuis longtemps, le biogaz est utilisé pour produire de l'électricité et du chauffage dans les centrales de cogénération, et la plupart des usines les plus anciennes sont équipées d'un système de cogénération.

Dans le cadre d'un dispositif d'accompagnement lancé en 2012, il est devenu possible de transformer le biogaz en biométhane et de l'injecter dans le réseau gazier national. En conséquence, la majeure partie du biogaz produit au Danemark est transformé en biométhane qui est ensuite commercialisé via le réseau de gaz. Le système de distribution du gaz a une couverture très large, il est disponible presque partout dans le pays.

En 2019, le parlement danois s'est fixé un objectif ambitieux en ce qui concerne l'environnement : 70% de réduction de CO₂ d'ici 2030 par rapport au niveau d'émission de 1990. Ce projet nécessitera d'énormes investissements pour les économies d'énergie et l'électrification. Avec la transition verte, la production d'énergie et sa consommation sont de moins en moins en phase. Les besoins en électricité ne coïncident pas toujours avec les périodes où la production d'électricité éolienne et solaire est la plus forte, et vice versa lorsque la production d'électricité dépasse largement la consommation électrique.

Le Danemark devrait vraiment être capable d'absorber le surplus d'électricité, mais il lui faut également une capacité de réserve considérable pour les situations où la consommation d'énergie est élevée, et que l'énergie fournie par le parc solaire et éolien ne couvre pas ces besoins.

Le réseau de gaz actuel est de loin la plus grande installation de stockage d'énergie au Danemark. Le réseau de gaz peut stocker une quantité d'énergie équivalente à un tiers de la consommation d'électricité annuelle du pays. Les nombreux systèmes de chauffage urbain au Danemark peuvent également conserver l'électricité mais, contrairement au réseau gazier, leurs fonctions ne leur permettent pas de renvoyer l'électricité vers le réseau électrique.

Le biogaz est un produit avantageux dans de nombreuses applications.

La production de biogaz peut permettre de stabiliser le réseau électrique quand la production d'énergie éolienne et solaire est fluctuante.

Introduire le biogaz dans le réseau de gaz permet de répondre en partie aux obligations qui échoient au réseau électrique d'utiliser une plus grande portion d'énergie renouvelable, sans parler de la réduction des coûts pour les consommateurs. Durant les mois d'hiver, les chaudières à gaz garantissent l'approvisionnement en chauffage à un prix raisonnable, et elles permettent de délester le réseau électrique.

Le biogaz peut être utilisé pour les industries et le transport. Le biogaz est indispensable dans les endroits où l'électrification ne sera pas envisagée avant plusieurs années. Les industries de transport lourd et industries lourdes pour n'en citer que quelques-unes.

Les centrales de méthanisation, alliées au réseau de gaz, contribuent à réduire l'empreinte carbone de la production alimentaire. Elles peuvent de plus fournir de l'énergie verte pour les solutions où l'électricité et l'électricité verte ne sont pas concernées. Le réseau de gaz est le plus grand centre de stockage d'énergie verte au Danemark, il peut ainsi permettre de stabiliser le réseau électrique en faisant évoluer la production d'électricité au même rythme que la consommation.

5.1 Les pertes du biogaz

En 2016, l'Association de l'industrie du biogaz en collaboration avec l'Agence danoise de l'énergie a lancé un programme basé sur le volontariat visant à mesurer les pertes en méthane. Le programme de mesure volontaire des méta-pertes de l'industrie du biogaz indique que la perte des centrales de méthanisation danoises est proche de l'objectif fixé de 1%.

Pour mémoire, de précédents projets pilotes avaient démontré que les pertes sont réelles, mais que les méthodes existent aujourd'hui pour repérer les fuites et mesurer les quantités perdues, et surtout qu'il est tout à fait possible de minimiser les pertes en méthane. Ceci représente un gros avantage pour l'économie d'exploitation et c'est pour le moins un outil important qui permet d'optimiser l'impact positif des centrales de méthanisation sur le réchauffement climatique.

Le programme de mesure volontaire comporte trois éléments clés : 1. Programme d'autosurveillance 2. Détection des fuites 3. Mesure des pertes en méthane.

Le gouvernement Danois continue de travailler sur le problème, un système obligatoire et permanent de surveillance des émissions de méthane dans les centrales de méthanisation devrait bientôt voir le jour.

5.2 Les normes de qualité du gaz au Danemark

La qualité du gaz du biométhane doit être la même que celle du gaz naturel conventionnel, et doit se conformer à tout moment à la réglementation du gaz danoise, et aux spécifications de qualité.

Tant la production que la composition chimique d'un gaz vert diffère du gaz naturel conventionnel. L'approvisionnement en gaz verts du réseau de gaz naturel au Danemark est encore récent et n'est pas d'une ampleur efficace pour permettre l'interopérabilité du réseau de gaz. Cependant, avec une injection toujours croissante, la question est de savoir comment trouver l'équilibre qui garantisse un fonctionnement sûr, sans imposer d'exigences trop strictes qui entraveraient l'injection de biométhane en raison de coûts de nettoyage plus élevés.

De plus, comme le gaz est commercialisé à travers les frontières, les différences de spécification en matière de qualité du gaz peuvent poser quelques difficultés. En Europe, les spécifications de qualité du gaz sont réglementées au niveau national, et elles varient en fonction de chaque pays. En ce qui concerne l'injection du biométhane dans le réseau, cela peut jouer sur la concurrence car les producteurs de biogaz qui exercent dans un pays où les spécifications de qualité de gaz sont moins strictes ont des coûts de raffinage moins élevés. Mais sans doute plus important encore : cela peut entraver les échanges physiques de gaz entre les différents systèmes de gaz.

5.3 Raffinage

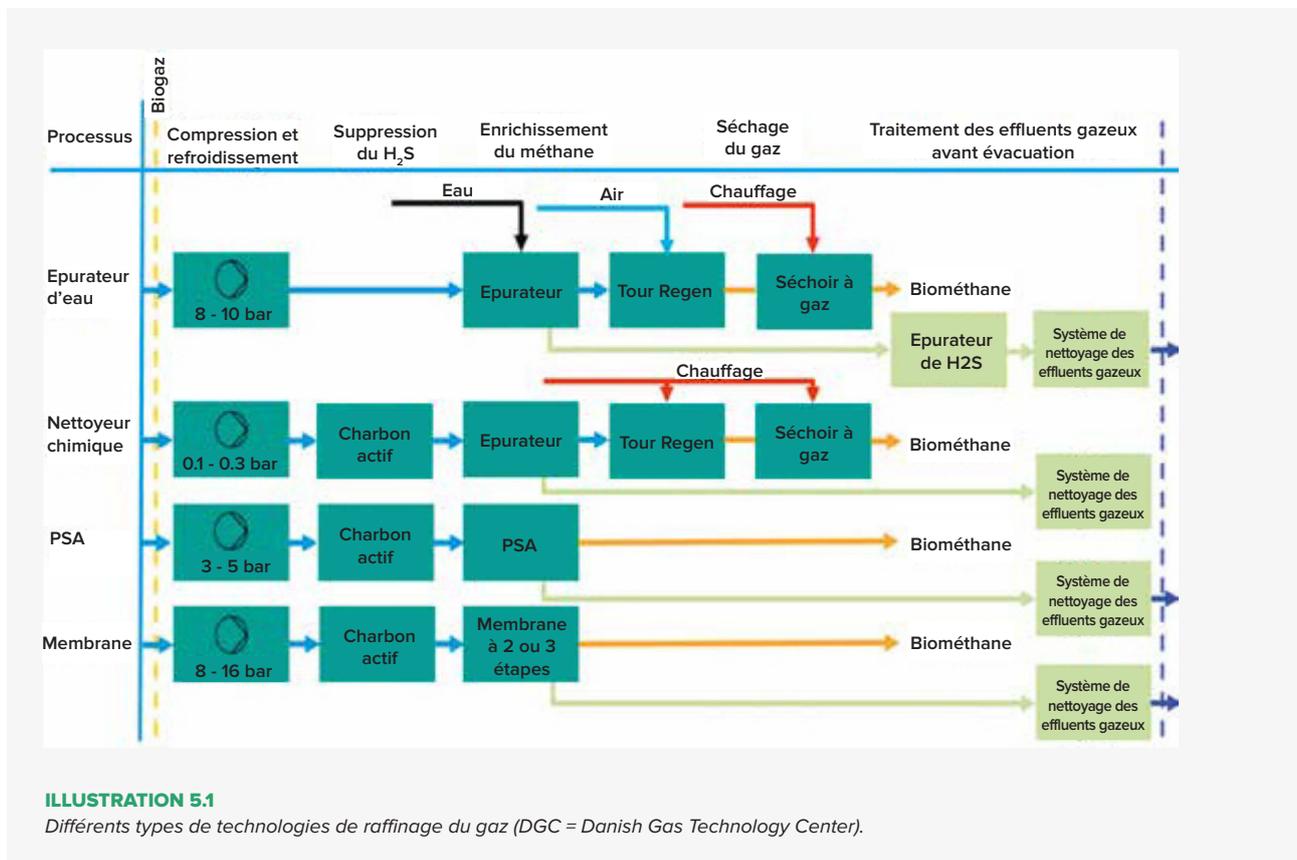
Le biogaz produit par digestion anaérobie est souvent utilisé dans les turbines à gaz pour produire de l'électricité. Afin d'augmenter la valeur du gaz et de permettre son utilisation dans différentes applications, il peut être intéressant de raffiner le biogaz. Pour ce faire, le dioxyde de carbone ainsi que diverses impuretés sont éliminés, ce qui génère du biométhane. Comme précédemment indiqué, le biométhane est identique au gaz naturel et peut donc être utilisé dans les mêmes applications (exemple : injecté dans le réseau de gaz naturel ou utilisé comme carburant automobile).

À l'heure actuelle, il existe trois possibilités pour utiliser le biogaz de manière efficace :

- Conversion en énergie dans une centrale de cogénération
- Injection dans le réseau de gaz naturel
- Carburant automobile

Dans tous les cas, le biogaz brut doit passer par une étape de purification avant utilisation. Dans la centrale de méthanisation, l'élimination du sulfure d'hydrogène (H_2S) s'effectue dans une certaine mesure uniquement. Pour le biogaz utilisé dans les réseaux de gaz ou comme carburant automobile, le gaz doit d'abord être nettoyé et amélioré dans une usine de raffinage du gaz. Dans cette usine, le gaz est purifié du dioxyde de carbone CO_2 , H_2S , de la vapeur d'eau et de l'ammoniac qu'il contient.

Il existe différentes techniques de raffinage du biogaz sur le marché actuel. Certaines utilisent le fait que le dioxyde de carbone et le méthane n'ont pas la même solubilité selon les solvants. En choisissant un solvant dans lequel le dioxyde de carbone a un haut niveau de solubilité, mais qui laisse passer le méthane sans le modifier, on peut séparer efficacement le dioxyde de carbone du méthane dans le biogaz.



Les solvants couramment utilisés pour nettoyer le biogaz sont l'eau, les amines ainsi que les solvants organiques comme le Genosorb. La différence d'adsorption du dioxyde de carbone et du méthane sur une surface en fonction de la pression exercée est utilisée dans l'adsorption modulée en pression (AMP), cette dernière peut ainsi être mise à contribution pour séparer efficacement le dioxyde de carbone du méthane. Une autre technique de raffinage répandue se base sur le fait que le dioxyde de carbone est plus susceptible de passer à travers une barrière semi-perméable (par exemple une membrane), que le méthane. En faisant passer le biogaz à travers ce type de membrane, le dioxyde de carbone peut donc être retiré du gaz, il reste alors du méthane concentré dans le flux de production. Enfin, la différence de point d'ébullition entre le méthane et le dioxyde de carbone peut être mise à profit pour séparer les deux gaz lors de la distillation cryogénique.

Le biogaz produit à partir de différents substrats comme les résidus agricoles, les déchets organiques ou les boues d'épuration contient de faibles concentrations de substances indésirables (par exemple les impuretés comme le H₂S, les siloxanes, l'ammoniac, l'oxygène et les carbonés organiques volatiles). Le H₂S est séparé du méthane dans la plupart des techniques de raffinage du biogaz.

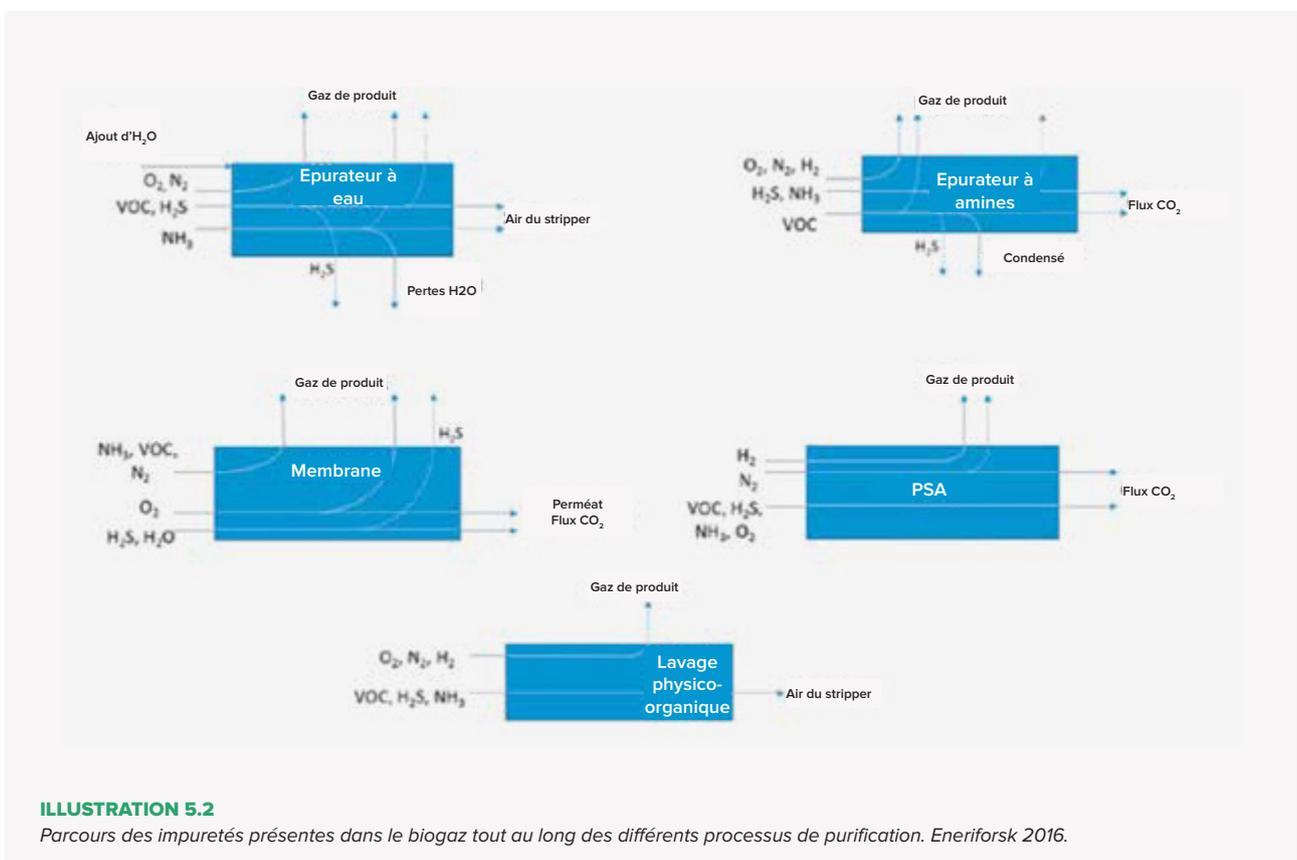
Selon ces différentes techniques, l'efficacité de l'élimination n'est pas la même, ce qui questionne leur capacité à répondre aux exigences de qualité du gaz. Les épurateurs utilisent l'absorption dans l'eau, les amines ou les solvants organiques éliminent généralement la plus grande partie du H₂S, tandis que les filtres de polissage sont utilisés pour le nettoyage membranaire et la PSA. Lorsqu'il est séparé du méthane, le H₂S atterrit cependant dans un flux secondaire riche en CO₂, comme le stripper à air, où il doit généralement être supprimé en raison des réglementations environnementales. (Source : Energiforsk 2016).

Le procédé de base de purification du biogaz consiste à concentrer le CH₄ dans le flux du biogaz brut (~60%) en séparant le CO₂ (~40%) et les autres gaz mineurs (H₂S, H₂O, H₂, N₂, O₂ et COV) du gaz d'entrée. Ce processus peut être réalisé à l'aide de différents types de techniques de séparation, qui mettent à profit les différents comportements chimiques et physiques de ces gaz. Dans certains cas, ces technologies peuvent également être combinées en fonction du principal type de mécanisme chimio-physique sur lequel elles s'appuient pour la séparation.

Un biogaz raffiné a une haute qualité.

Techniques de purification existantes :

1. Adsorption par variation de pression (PSA)
2. Lavage à l'eau
3. Lavage aux amines
4. Lavage physico-organique
5. Séparation membranaire
6. Purification par cryogénie



Les usines de raffinage du biogaz de la société danoise AMMONGAS produisent à ce jour 9 PJ de biométhane / an (¾ de la production totale au Danemark en 2020). Réduire les émissions de CO₂ fossile au Danemark de 500 000 tonnes / an.

Le nettoyage aux amines Ammongas est remarquable de par sa grande capacité à séparer le CO₂ du biométhane, qui ne génère qu'une infime dégradation du méthane (seulement 0,04%). De plus, en raison d'une séparation très efficace, le gaz purifié peut être utilisé pour la liquéfaction.

Les usines de raffinage sont très fiables, car elles peuvent traiter le biogaz brut sans le moindre prétraitement. Leur consommation en énergie est très faible avec une consommation électrique inférieure à 0,12 kWh / m³ de biogaz brut, et une demande en chaleur d'environ 0,2 kWh / m³ de biogaz (chiffres incluant à la fois le processus de purification et de désulfuration). Les usines de raffinage ont une disponibilité élevée (en moyenne 98,5%, maintenance programmée comprise), et comme il n'y a pas de prétraitement, il n'existe aucun risque de dégradation du gaz avec de l'oxygène ou de l'azote.

ILLUSTRATION 5.3

Tour de purification de la société Ammongas de Madsens bioenergy. Distribution du biométhane raffiné au réseau gazier danois, avec une disponibilité moyenne de plus de 99%. L'usine est alimentée par une chaudière à biomasse qui combine la paille et les copeaux de bois. La chaleur récupérée dans l'usine de raffinage est à son tour utilisée pour alimenter l'ensemble de la centrale de méthanisation.

La majorité des nouvelles centrales de méthanisation au Danemark appliquent des techniques de récupération des amines pour transformer le biogaz afin qu'il atteigne la qualité du réseau de gaz naturel.





ILLUSTRATION 5.4
 Installation de désulfuration Biogascleaner QSR au sein de
 Nature Energy Maansson à Brande, au Danemark.
PHOTO Biogasclean.



ILLUSTRATION 5.5
 Installation de désulfuration Biogascleaner QSR à NGF
 Nature Energy Korskro au Danemark. **PHOTO** Biogasclean.

5.3.1 La désulfuration

Au Danemark, la majorité des projets de raffinage utilisent un lavage aux amines combiné à un système de désulfuration Biogascleaner QSR produit par la société danoise Biogasclean A / S. Le système de désulfuration Biogascleaner QSR est installé en aval des usines de raffinage par lavage aux amines afin de nettoyer le flux de CO_2 . Cet ensemble de technologies offre un intérêt hautement compétitif avec un OPEX aussi bas que possible, et une perte en méthane ramenée au minimum, comme les chiffres indiqués ci-dessus le prouvent. De janvier 2017 à janvier 2020, Biogasclean A/S a été choisi pour 16 projets de raffinage danois produisant du biométhane pour le réseau gazier. Outre ces projets de raffinage, les systèmes conçus par Biogasclean A/S fournissent un gaz amélioré à ce qui représente plus de 580 MW de moteurs à gaz dans le monde.

Le Biogascleaner QSR est installé en aval de l'unité de lavage aux amines et permet de réduire le taux de concentration du H_2S dans le flux de CO_2 d'environ 7,500 ppm, jusqu'à un maximum de 50 ppm.

L'usine Nature Energy Korskro produit chaque année approximativement 22 millions de mètres cubes de biométhane qui sont injectés dans le réseau public de gaz.

Le Biogascleaner QSR est installé en aval de l'unité de lavage aux amines et réduit le taux de concentration du H_2S dans le flux de CO_2 d'environ 8,000 ppm, jusqu'à un maximum de 50 ppm. Le CO_2 nettoyé est quant à lui traité et utilisé dans l'industrie alimentaire.



ILLUSTRATION 5.6

Installation de cuve de stockage pour le chlorure de fer.

PHOTO Kemira.

5.4

La précipitation chimique du sulfure

Une centrale de méthanisation fonctionne en temps normal avec un taux de matière sèche (MS) allant de 3 à 15% du substrat humide. La MS est dans la plupart des cas dégradé d'environ 50% et à la sortie, le digestat issu du digesteur possède normalement un taux de MS de 2 à 7%. La charge organique en MS est normalement de 2 à 5 kg de MS par m³ de digesteur et par jour.

Parallèlement à la production de méthane, du sulfure d'hydrogène se forme. Selon le type de substrat, la production de sulfure d'hydrogène varie. Le biogaz des centrales de fumier peut contenir de 2000 à 8000 ppm de sulfure d'hydrogène, alors que le biogaz produit dans les centrales de déchets ménagers en contient généralement de 600 à 800 ppm. Les sels de fer sont utilisés pour éliminer le sulfure d'hydrogène toxique, ils sont mesurés et ajoutés dans le digesteur ou dans les cuves qui reçoivent le substrat si nécessaire. En fonction du substrat, le besoin en fer pour réduire les niveaux de sulfure d'hydrogène n'est pas le même.

Selon le type de substrat, certains additifs comme les oligo-éléments peuvent s'avérer nécessaires.

Pour les cultures énergétiques, les résidus agricoles et les substrats non agricoles, la supplémentation en oligo-éléments est une réalité en raison de leur faible teneur dans les substrats. Si les oligo-éléments ne sont pas ajoutés au digesteur, le processus microbologique en sera limité. Les limitations du processus empêcheront d'augmenter la charge organique visant à obtenir une opération stable, et elles entraîneront des niveaux élevés d'acides gras volatils (AGV) dans le digesteur / réacteur. Ceci empêchera d'obtenir un processus microbologique équilibré dans le digesteur / réacteur, et entraînera une diminution du rendement en biogaz en raison d'une faible dégradation des AGV et des acides gras plus longs. Ces derniers ne seront donc pas dégradés en méthane et en dioxyde de carbone dans une mesure suffisante. À la place, ils seront transformés en méthane gazeux au sein du digestat traité, qui sera rejeté dans l'atmosphère, c'est ce qu'on appelle le méthane résiduel.

Contrôler le soufre est crucial pour le fonctionnement des centrales de méthanisation, et pour la qualité du gaz.

En conséquence, les performances globales et la rentabilité de la centrale seront réduites, mais cela entraînera également un problème environnemental car le méthane est un gaz à effet de serre très puissant qui ne doit en aucun cas être rejeté dans l'atmosphère. Les niveaux d'AGV ne doivent pas dépasser 1500 mg/l dans le digesteur.

En fonction du contenu énergétique des substrats, le rendement en biogaz peut varier énormément. En général, le lisier provenant des élevages porcins offre un rendement en biogaz de 200 m³ de méthane par tonne de solides volatils (SV), alors qu'un substrat issu des déchets alimentaires et du secteur de la restauration aura un rendement en gaz de 660 m³ de méthane par tonne de SV.



ILLUSTRATION 5.7

Cuve de stockage utilisée comme solution d'entreposage. **PHOTO** Kemira.

5.4.1 Le fer comme macronutriment

Le fer est le composant clé de la digestion anaérobie, il est impliqué dans l'ensemble des processus bactériens.

Pour la production de biogaz, différents produits sont utilisés pour diminuer la concentration en sulfure d'hydrogène. Réduire le taux de sulfure d'hydrogène permet également de prémunir la corrosion dans les équipements de l'usine, le système de traitement du gaz ainsi que les systèmes de nettoyage du gaz. Si le biométhane raffiné est destiné à être utilisé comme carburant automobile, dans les réseaux de gaz publics ou bien comme source d'énergie générale, les taux en sulfure d'hydrogène doivent être réduits, en général ils doivent se situer sous la barre des 100 ppm en phase gazeuse.

Les produits contenant du fer sont principalement utilisés pour contrôler le sulfure d'hydrogène dans les systèmes de biogaz. Le fer (Fe) ajouté réagit avec l'ion sulfure S_2 pour former du sulfure de fer, un composant solide qui est sorti du système avec le digestat solide. Les produits ferreux sont ajoutés directement dans le digesteur ou bien en amont de celui-ci. Les produits ferreux sont commercialisés sous différentes formes, qu'elles soient liquides ou solides.

5.4.2 Les oligo-éléments sont des macronutriments

Les micro-organismes présents dans l'environnement des digesteurs / réacteurs anaérobies utilisent des enzymes et des coenzymes pour la dégradation par métabolisation de la cellulose, de l'amidon, des protéines, des lipides, des glucides, et acides gras. Ils transforment également les composés intermédiaires en certains des principaux produits finaux du méthane et dioxyde de carbone.

Les besoins en oligo-éléments pour une dégradation anaérobie dépendent de la teneur naturelle en oligo-éléments. Les substrats issus de créatures vivantes comme les boues d'épuration municipales et le fumier d'élevage n'ont généralement pas besoin d'oligo-éléments supplémentaires car ceux-ci sont déjà présents à des taux suffisants dans le substrat. Mais si la charge organique passe au-dessus de 4 [kg VS / (m³ · j)], une supplémentation en oligo-éléments sera nécessaire pour maintenir un bon rendement en méthane (CH₄) et ne pas ralentir la production de la centrale de méthanisation.

Les substrats provenant de cultures énergétiques, de résidus agricoles, de résidus organiques industriels, de déchets ménagers, de biodéchets et des eaux usées industrielles sont habituellement très pauvres en oligo-éléments. Pour assurer un processus de dégradation anaérobie ajouter des oligo-éléments s'avère donc très important. Sans supplémentation, les micro-organismes seront empêchés de transférer les glucides, les protéines et les lipides vers le biogaz.

5.4.3 Les processus anaérobies reposent sur la chimie

Comme mentionné ci-dessus, pour qu'une centrale de méthanisation fonctionne correctement, les réactions chimiques sont essentielles. BDP (Kemira Biogas Digestion Products) met à disposition des produits en fer pur spécifiquement conçus pour les centrales de méthanisation et les usines de traitement des eaux usées anaérobies industrielles. Leur portefeuille se compose également de sels de fer spéciaux qui contiennent des oligo-éléments de différents types et à différents taux de concentration. La manière dont BDP sélectionne un produit BDP se base sur le substrat, la conception du système, le processus de digestion anaérobie ainsi que la charge du processus.

Ajouter des produits à base de fer permet bien entendu de réduire la quantité de sulfure d'hydrogène dans le biogaz produit, mais aussi de prévenir la corrosion des installations et équipements, et enfin de produire un biogaz

qui sera utilisable dans les moteurs à gaz, les réseaux de gaz et / ou comme carburant automobile. Les oligo-éléments qui contiennent des produits BDP permettent d'augmenter la production et le rendement en biogaz. Le taux de charge organique peut ainsi être augmenté, les niveaux de VFA présent dans le digesteur / réacteur sont réduits, ainsi que les problèmes de moussage. Du fait d'une meilleure réduction des acides VFA et des acides gras longs dans les digesteurs / réacteurs, les acides sont transférés au méthane et au dioxyde de carbone à un niveau plus élevé.

Les pertes en méthane sont également diminuées et l'impact négatif sur l'environnement est réduit.

D'une manière générale, cette supplémentation augmente les capacités de l'installation sans avoir recours à de gros investissements. Le rendement économique de la centrale augmente ainsi au même rythme que le rendement en biogaz et sa production. En matière de dégradation, le fer est un macronutriment et il est également un élément central de la digestion anaérobie de par son implication dans l'ensemble des processus bactériens. Il précipite le sulfure S_2 et il inhibe l'effet toxique du sulfure d'hydrogène H_2S .

La composition de la matière organique influe grandement sur la formation du biogaz et sur la quantité de méthane produite.



ILLUSTRATION 5.8

Moteur à gaz et générateur conçus par Jenbacher pour les centrales de méthanisation.

PHOTO Jenbacher.

5.5 La cogénération (CHP)

Les centrales de cogénération (CHP) - L'utilisation de générateur pour produire de l'électricité et de la chaleur se pratique depuis des décennies dans les centrales de méthanisation danoises.

En utilisant du biogaz dans un moteur à gaz, il est possible d'obtenir une production d'électricité qui représente 35 à 40% du contenu énergétique du biogaz. L'énergie restante sort sous forme de chaleur : en partie sous la forme de gaz de combustion chauds, et en partie sous la forme d'eau chaude. Ainsi, 60% du contenu énergétique du biogaz sort sous forme de chaleur, pour faire des bénéfices, il est donc nécessaire de vendre cette chaleur pour qu'elle soit utilisée à d'autres fins, et ce à un prix raisonnable. Pour les centrales de cogénération au Danemark, le défi consiste à vendre la chaleur au prix juste durant les mois d'été.

5.6 Transport et logistique

Le transport et la logistique liés à l'exploitation d'une centrale de méthanisation constituent une part conséquente de son coût d'exploitation. En termes budgétaires, il est extrêmement important que leur gestion soit bien pensée.

La production de biogaz dans les usines de traitement des eaux usées et dans les centrales industrielles n'a rien à voir avec celle des centrales agricoles, car la majeure partie de la biomasse des usines de traitement est généralement fournie par pompage. Pour les centrales agricoles, la quasi-totalité de la biomasse est acheminée par camion. Des camions spécialement conçus transportent la biomasse liquide des effluents vers les centrales et évacuent le digestat une fois décomposé. Bien organiser la collecte de la biomasse et la livraison du digestat aux exploitations agricoles est de la plus haute importance.

L'organisation de l'approvisionnement en biomasse est d'une importance cruciale pour l'économie.



ILLUSTRATION 5.9

Un camion spécialement conçu pour le transport des effluents.

PHOTO Food & Bio Cluster Denmark.

Power-to-X (P2X)

- **Hydrogène.** Peut être utilisé directement pour la production de chaleur et d'électricité (ex : les centrales de cogénération), dans le secteur des transports (ex : les piles à combustible) ou comme matière première chimique (ex : dans une raffinerie). L'injection d'une petite quantité dans le réseau de gaz naturel est également possible. L'hydrogène est produit par électrolyse de l'eau, qui est souvent la première étape du processus de production des produits P2X suivants.

- **Méthane de synthèse.** Peut être directement injecté dans le réseau de gaz naturel, et utilisé aux mêmes fins que celui-ci. La production nécessite une source de CO₂. Ce procédé est souvent appelé Power-to-Gas (P2G).

- **Combustibles liquides de synthèse.** Par exemple, le méthanol, l'essence, le kérosène (carburéacteur), le diesel et le gazole. Peut être utilisé aux mêmes fins que les produits pétroliers fossiles correspondants. La production nécessite une source de CO₂. Ce processus est parfois appelé Power-to-Liquids (PtL).

- **Ammoniac.** Ingrédient de base des engrais. L'ammoniac peut également être utilisé comme vecteur d'énergie pour l'hydrogène ou bien directement comme carburant. La production ne nécessite pas de source de CO₂, mais uniquement de l'azote qui est prélevé directement dans l'air. Depuis 2018, date à laquelle ont été fixés les objectifs de réduction du CO₂ pour le transport maritime international, les principaux acteurs se sont mobilisés pour que l'ammoniac à base d'électrolyse devienne un propulseur neutre en CO₂ dans le secteur du transport maritime.

5.7 Power2X

Passer à une énergie 100% renouvelable d'ici les prochaines décennies est une tâche importante et complexe à réaliser au Danemark. Les analyses à long terme du système énergétique indiquent depuis de nombreuses années que l'électrolyse pourrait être un élément central pour une transition de l'ensemble du système énergétique, mais on estime que les résultats ne se feront pas sentir avant 2030.

Power2X (P2X) permet de convertir en hydrogène la production d'électricité renouvelable par électrolyse, et procède ensuite au raffinage pour le transformer (exemple : combustibles gazeux et liquides). Ce processus est en passe de devenir l'élément central et indispensable qui permettra de transiter vers la production d'une énergie propre et renouvelable.

De nombreuses analyses indiquent qu'une électrification massive des différents systèmes énergétiques, par le biais d'une connexion dite sectorielle, représente la clef de voute du développement du système énergétique danois. Le chauffage des bâtiments peut être distribué sans perte d'énergie à l'aide de pompes à chaleur électriques, et l'électricité est souvent la source d'énergie la plus rentable et la plus propre pour ce qui concerne le secteur des transports. Produire de l'électricité à partir de l'éolien et du solaire permet aujourd'hui d'obtenir de l'énergie renouvelable à moindre coût. Avec la baisse importante des tarifs les années passées, la production d'électricité renouvelable issue de l'éolien et du solaire prend de l'ampleur au niveau mondial, le pourcentage d'électricité fournie par l'éolien et le solaire est aujourd'hui considérable.



ILLUSTRATION 5.10

Conversion du CO₂ et du H⁺ en méthane dans le centre d'essai de l'Université d'Aarhus.
PHOTO Food & Bio Cluster Denmark.

Les analyses montrent qu'environ 40 à 60% de la consommation d'énergie en 2050 ne pourra pas être couverte par la consommation directe d'électricité. Cette consommation d'énergie devra donc être couverte par d'autres carburants. On s'attend à une forte demande en carburants liquides et gazeux pour une grande partie du secteur de la navigation, des transports lourds et aériens, de l'industrie, de la production d'électricité auxiliaire, etc. Les productions Power2X sont donc très intéressantes à cet égard, ainsi que les productions basées sur le biogaz.



ILLUSTRATION 5.11

Centrale pilote de conversion de CO_2 et H en méthane, Haldor Topsøe de l'université d'Aarhus.

PHOTO Food & Bio Cluster Denmark.

6 L'Utilisation du digestat

6.1

Valeur fertilisante et recyclage

La majorité des aliments d'élevage est composée de plantes qui contiennent un ensemble de nutriments. Certains de ces nutriments sont convertis par les animaux en lait, viande ou œuf, mais le reste traverse l'animal et finit sous forme de lisier ou de fumier. Lorsque ces effluents sont épandus, la boucle est bouclée et les cultures bénéficient de quasiment tous les nutriments dont elles ont besoin. Cependant, pour compenser en partie la disparition des éléments nutritifs dans les produits animaux, il est souvent requis d'ajouter une certaine quantité d'engrais inorganique issus des déchets ménagers ou industriels.

Le recyclage des nutriments, plutôt que l'utilisation d'engrais minéraux industriels, se fait de plus en plus pressant en raison de l'épuisement des réserves naturelles de phosphore dans le monde. Le digestat des centrales de méthanisation est un excellent fertilisant pour les plantes, il est riche en nutriments et en matière organique, et ses nutriments sont plus assimilables que ceux du fumier brut. Au Danemark et en Europe, le fumier / lisier brut et le digestat des centrales de méthanisation sont utilisés comme engrais pour les cultures d'une manière directe.

Pour remplacer des engrais minéraux par un digestat, il faut que le digestat puisse être manipulé et utilisé aussi simplement que sûrement.

Règlementation au Danemark

Au Danemark, le ministère de l'Environnement et de l'Alimentation est responsable des règles qui définissent l'utilisation du fumier comme engrais, et de la mise en œuvre de la législation européenne concernée. Les réglementations les plus importantes sont :

- L'arrêté statutaire qui régit la gestion des effluents d'élevage.
- L'arrêté statutaire qui régit l'utilisation des engrais dans l'agriculture et le couvert végétal.
- L'arrêté statutaire qui régit l'utilisation des déchets organiques comme engrais sur les terres agricoles.
- L'utilisation de résidus d'animaux (ex : dans les abattoirs), est réglementé par l'administration vétérinaire et alimentaire danoise.

Les éléments importants de cette réglementation sont :

- Le fumier de bétail peut être utilisé sans traitement sur les terres agricoles. Il en va de même pour les résidus digestifs, le lait et des produits laitiers.
- Le fumier et le lisier doivent être stockés dans des cuves de stockage étanches et couvertes.
- Les nutriments contenus dans le fumier et le lisier doivent être utilisés comme engrais sur les terres cultivées. La seule alternative possible est l'incinération dans une usine d'incinération agréée.
- La quantité de N et P qui peut être légalement appliquée par hectare de terres agricoles est limitée.
- Si une exploitation a plus d'effluents que ce qu'elle peut légalement appliquer sur ses propres terres, un accord écrit doit être signé précisant si le surplus de fumier est attribué à une autre exploitation, une centrale de méthanisation, ou bien une usine d'incinération.
- L'épandage de fumier liquide ou de biomasse dégazée doit être pratiqué selon certaines techniques afin d'éviter les odeurs et les émissions.
- L'application d'engrais liquide ou de biomasse dégazée doit avoir lieu immédiatement avant ou pendant la saison de végétation afin d'optimiser les nutriments et d'éviter le lessivage des sols.
- Certains types de déchets organiques, comme les déchets ménagers, peuvent être appliqués sur les terres agricoles sans autorisation, tandis que d'autres requièrent une autorisation. Dans les deux cas, il existe des limitations quant à la quantité autorisée de métaux lourds, substances nocives pour l'environnement et impuretés physiques comme le plastique. Ces limitations sont contrôlées par un tiers.
- Les déchets organiques doivent subir des traitements spécifiques à but hygiénique avant l'épandage : stabilisation, compostage contrôlé ou stérilisation contrôlée selon le type de déchet.
- Les sous-produits animaux doivent être conformes aux réglementations émises par l'UE. Ce règlement interdit l'utilisation de sous-produits animaux à risque pour l'alimentation animale. Les matériaux à haut risque, comme les animaux morts des suites de certaines maladies, doivent être incinérés. Certains matériaux à faible risque peuvent être utilisés pour le biogaz, mais parfois uniquement après avoir été stérilisés sous pression. Pour pouvoir traiter ce type de matériau, la centrale de méthanisation doit disposer d'une unité de stérilisation approuvée.

	Matière sèche %	Nitrogène total kg/tonne	Nitrate d'ammonium kg/tonne	Phosphore kg/tonne	Kalium kg/tonne
Lisier de vaches	8	4,9	3,0	0,8	4,4
Lisier de porcs en finition	6	5,0	3,5	1,2	2,6
Lisier de truies	4	3,8	2,6	0,9	1,9
Lisier (solide)	20	6,0	1,5	1,6	2,5
Urine	3	5,0	1,5	0,2	8,0
Litière profonde	30	10,0	2,0	1,5	10,0

FIGURE 6. 1

Concentration moyenne des nutriments les plus importants dans les engrais organiques d'origine animale.

6.2

Le contenu nutritionnel

L'engrais organique d'origine animale se compose de 70 à 98% d'eau et de seulement 2 à 30% de nutriments et de composés organiques. Les engrais organiques solides et la litière profonde ont une forte teneur en paille, et un taux de nutriments et de solides relativement élevé. Les engrais organiques liquides, comme le lisier, ont une forte teneur en eau et contiennent assez peu de paille, ce qui fait que le taux de solides et de nutriments est relativement bas.

Les plus grands taux de nutriments dans les engrais organiques sont représentés par les macronutriments (par exemple l'azote, le phosphore, le potassium et le magnésium). D'autres nutriments sont présents à des taux de concentration plus faibles (par exemple le sodium, le cuivre, le zinc, le bore et le molybdène). La plupart des nutriments peuvent être absorbés directement par les plantes.

Dans les engrais organiques, l'azote se présente sous deux formes :

- L'ammonium, qui est directement assimilé par les plantes
- L'azote organique, qui doit être transformé dans le sol avant de pouvoir être absorbé par les plantes. Le nitrate, qui est un composant important des engrais inorganiques, a néanmoins un taux de concentration assez faible dans les engrais organiques d'origine animale.

Les taux de concentration indiqués dans le tableau sont ceux que l'on trouve généralement dans la pratique danoise. Il existe cependant de grandes variations entre les exploitations en raison de leurs différences en matière de pratiques alimentaires, d'utilisation de l'eau, de conception des bâtiments, d'utilisation de la paille, etc. Ces écarts influent donc sur la composition du lisier et de la boue.

6.3

La valeur nutritive

La valeur du lisier, de la boue et de la biomasse dégazée dans une ferme est considérable. Les engrais organiques peuvent remplacer partiellement voire totalement les engrais inorganiques utilisés sur les terres. Par conséquent, des économies sont à prévoir si les engrais inorganiques, le lisier, la boue et la biomasse dégazée sont utilisés de manière optimale. Il n'existe pas de chiffre officiel qui définit le prix de l'engrais organique d'origine animale, mais sa valeur se calque sur celle de l'engrais inorganique qu'il remplace.

Le tableau montre la valeur fertilisante totale en fonction du type et de la taille de l'exploitation. La valeur correspond à la valeur de la quantité de phosphore, de potassium et d'azote utilisé dans l'engrais inorganique.

Pour que sa valeur soit pleinement mise à profit, il est important d'épandre le lisier, la boue et la biomasse dégazée sur les bonnes cultures et au moment opportun, et ce à l'aide d'un équipement optimal.

La quantité produite correspond à la production annuelle de base. Pour calculer la valeur, les normes danoises qui définissent la concentration moyenne en éléments nutritifs dans le fumier / lisier varient en fonction du type de bétail, de l'alimentation, du type d'hébergement animal, etc.

Le taux d'utilisation en % correspond à la mesure de la quantité d'azote (N total) utilisée sur une culture au cours de l'année d'application (effet de la première année). On considère que l'efficacité d'utilisation de l'azote présent dans les engrais inorganiques est de 100%. L'effet de la première année repose principalement sur la teneur en nitrate d'ammonium de l'engrais organique.

L'effet résiduel est mesuré d'après l'effet de l'azote durant les années qui suivent l'application du lisier, de la boue ou de la biomasse dégazée. L'effet résiduel résulte principalement de la teneur en nitrate organique. L'effet résiduel sur une période de 10 ans est estimé à 7-10% pour le lisier de porc, à 10-15% pour le lisier de bétail et à 16-24% pour les engrais organiques solides.

L'utilisation de l'azote est très variée. La quantité d'azote absorbée par les cultures varie en fonction des différentes quantités de lisier et de boue qui ont une liaison organique avec les résidus végétaux non assimilables, et donc non utilisables par les plantes. La biodisponibilité en azote la plus élevée se trouve dans le lisier et l'urine. C'est la raison pour laquelle l'utilisation de l'azote est plus importante dans un engrais organique liquide que dans un engrais organique solide.

Le degré d'utilisation varie car une partie de l'azote se perd dans l'environnement avant de pouvoir être absorbée par les plantes. Pour optimiser l'utilisation de l'azote, il faut donc veiller à minimiser ces pertes. Pour ce faire, on peut par exemple choisir l'équipement le plus approprié pour l'épandage, et appliquer le fumier uniquement aux bonnes quantités et au meilleur moment.

Il est recommandé d'appliquer la majorité des engrais organiques au printemps. Il est donc nécessaire de pouvoir stocker le lisier et la boue durant les mois d'automne et d'hiver. L'idéal est d'avoir une capacité de stockage correspondant à une production de 8 ou 9 mois.

ENGRAIS PRODUIT				
Type d'engrais	Tonne / animal	Production totale (tonne)	Valeur par tonne (EUR)	Valeur totale (EUR)
Lisier de truies	9,60	8,160	4	36,680
Lisier de porcs en finition	0,54	5.400	6	32.227
Lisier de bétail	38,00	11.460	6	71.408
Lisier de bétail	38,00	19100	6	119.013

ILLUSTRATION 6.2

Estimation de la valeur des engrais selon les différents types d'engrais les plus répandus au Danemark en novembre 2016.

Type d'engrais	Culture et méthode d'application	Efficacité de la première année en %
Lisier porcin	Pendillard à tube trainé sur culture d'hiver (céréales, colza)	65
Lisier de bétail	Pendillard à tube trainé sur culture d'hiver (céréales, colza)	45
Lisier de bétail	Injecté dans les herbages	50
Lisier de bétail	Pendillard à tube trainé dans les herbages (acidifiés)	50
Organique liquide Engrais	Pendillard à tube trainé sur culture d'hiver (céréales, colza)	85
Organique solide Engrais	Diispersion sur culture d'hiver (céréales, colza)	25
Litière profonde	Diispersion sur culture d'hiver (céréales, colza)	85

ILLUSTRATION 6.3

Utilisation de l'azote dans les engrais organiques. Période de croissance des cultures, printemps et été. SEGES P/S.

Type d'engrais	Culture et méthode d'application	Efficacité de la première année en %
Lisier porcin	Injecté dans les céréales de printemps ou le maïs	75
Lisier de bétail	Injecté dans les céréales de printemps ou le maïs	70
Lisier porcin	Injecté dans le colza hivernal	65
Organique liquide. Engrais	Injecté dans les céréales de printemps ou le maïs	90
Organique solide Engrais	Enfoui par labourage avant les céréales de printemps	40
Litière profonde	Enfoui par labourage avant les céréales de printemps	30
Litière profonde	Enfoui par labourage avant le maïs ou les betteraves	35

ILLUSTRATION 6.4

Utilisation du nitrate dans les cas où il est appliqué avant l'ensemencement.

**Le digestat issu
des centrales de
méthanisation est un
engrais valorisable.**





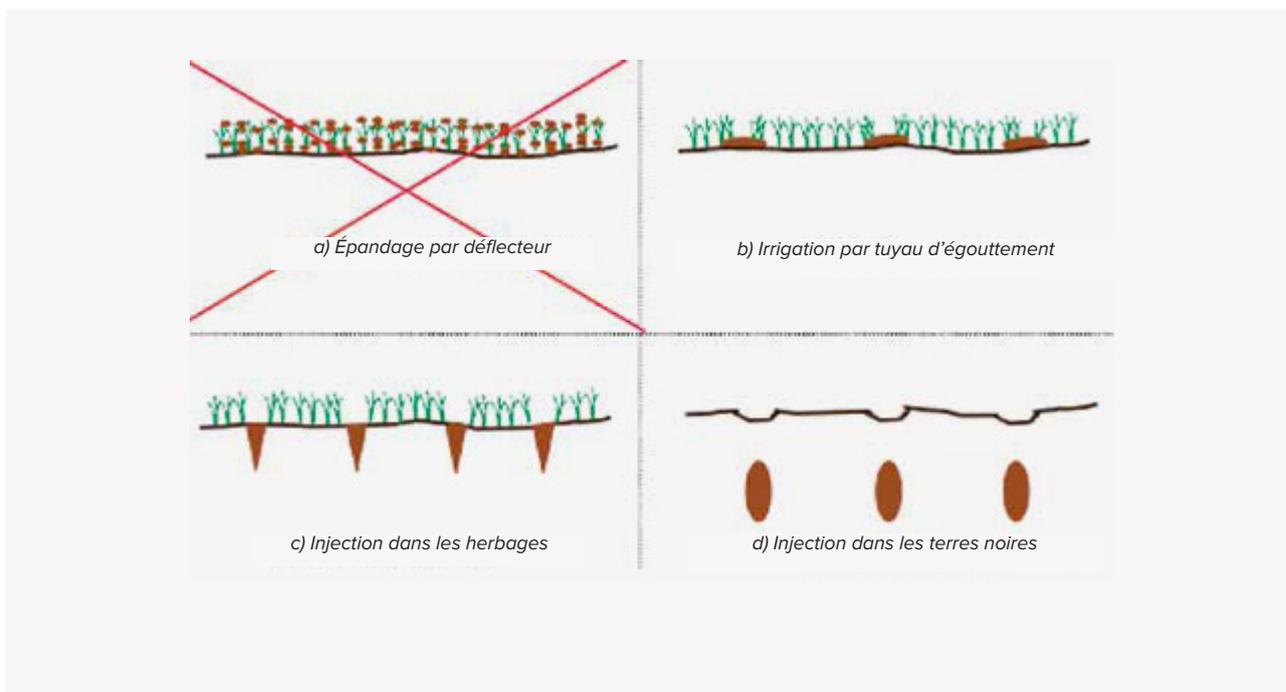


ILLUSTRATION 6.5

Emplacement de l'engrais dans les cultures ou les sols après son application.

6.4

Méthodes d'application et pertes en ammoniac. Un bon brassage avant application est important. Dans la cuve où est entreposé le lisier, les éléments nutritifs se séparent au cours du processus de stockage. Cela concerne la matière sèche, le phosphore, l'azote organique et certains micronutriments qui se séparent et s'accumulent dans la couche inférieure et la couche flottante à des taux de concentration élevés. Le nitrate d'ammonium et le potassium ne se séparent pas car ce sont des nutriments solubles dans l'eau.

En remuant soigneusement le lisier avant l'application, vous en tirez deux bénéfices :

- Le lisier sera homogène et donc plus simple à pomper. La cuve peut alors être vidée complètement.
- La concentration en nutriment (notamment le phosphore) reste constante du premier au dernier chargement de lisier.

Les engrais organiques solides, comme la litière profonde, peuvent être appliqués uniquement à l'aide d'un épandeur de fumier. Les pertes d'ammoniac en ce qui concerne ce type d'engrais organique peuvent être réduites au maximum en labourant la litière profonde / boue aussi vite que possible après application.

Les engrais organiques liquides quant à eux, peuvent être appliqués en suivant un certain nombre de méthodes différentes. L'utilisation des nutriments peut donc être optimisée en choisissant la méthode d'application la plus appropriée à la culture concernée, ainsi que le moment opportun. Le tableau répertorie les méthodes appropriées à l'application d'engrais organiques liquides.

La ligne noire représente la surface du sol, et les zones marron le fumier. Notez que le contact entre l'engrais et l'atmosphère est très différent en fonction des quatre méthodes. Ce contact est assez important avec un déflecteur, ce qui génère la plus haute évaporation d'ammoniac et donc la plus grande perte en azote.

Le digestat doit être manipulé correctement pour que son effet fertilisant soit optimal.

Il en résulte que cette méthode est interdite au Danemark. Plus l'exposition à l'air est longue, plus la perte d'azote due à l'évaporation / l'émission d'ammoniac est importante. Il est donc préférable d'utiliser des injecteurs, des incorporeurs et des tuyaux d'égouttement pour l'épandage plutôt que des déflecteurs.

Depuis 2001 il est interdit d'épandre le lisier à l'aide de canons d'irrigation, et depuis 2002 l'épandage à dispersion large n'est pas autorisé pour raisons sanitaires et environnementales.

Pour le digestat de biogaz, il est capital de passer par des techniques qui empêchent l'évaporation de l'ammoniac, ce qui veut dire le stocker dans des cuves à lisier couvertes, et l'épandre avec un système d'injection ou à bandes. Le fait que le digestat ait un pH plus élevé, et qu'il contienne également une plus grande part d'azote sous forme minéralisée augmente largement le risque d'évaporation de l'ammoniac.

L'épandage à dispersion large n'est plus autorisé



ILLUSTRATION 6.6

2 L'épandage et l'arrosage à large dispersion ne sont pas autorisés en raison de pertes en azote extrêmes. Torkild Birkmose, SEGES. PHOTO Seges.



ILLUSTRATION 6.7

Application terrestre par tubes traînés. Réduction des émissions d'azote d'environ 50% par rapport à une diffusion large.

PHOTO GØMA.



ILLUSTRATION 6.8

Injection dans les herbages. Réduction des émissions d'azote d'environ 25% par rapport à une application avec tubes traînés. PHOTO Samson Agro.



ILLUSTRATION 6.9

Injection dans les sols noirs. Réduction de 85% des émissions de N par rapport à une application avec tubes traînés. PHOTO Samson Agro.

**Focus sur la centrale
de méthanisation de
l'université d'Aarhus :
La plus grande centrale
au monde dédiée
spécifiquement à
la recherche et au
développement (R&D).**



7 Réduire les incidences sur l'environnement

Parmi les défis environnementaux à relever, on citera :

- L'évaporation de l'ammoniac
- Le lessivage des nitrates
- La dénitrification
- Les pertes en phosphore
- Le ruissellement des surfaces
- Les odeurs

Tous ces risques peuvent être diminués voire supprimés en utilisant la bonne technique au bon moment.

Le digestat des centrales de méthanisation dégage moins d'odeur que le fumier brut, et il a une valeur fertilisante plus élevée. Malgré le plus grand risque d'évaporation de l'ammoniac, le digestat sent beaucoup moins que le lisier non traité. En effet, il a une viscosité plus faible, il est plus homogénéisé et ses particules sont plus petites, il s'infiltre donc plus vite dans les sols. La principale préoccupation des personnes résidant à côté d'exploitations d'élevage étant l'odeur, c'est une notion qui incite souvent les agriculteurs à investir dans la production de biogaz.

Une ferme qui utilise du digestat comme engrais, obtient souvent les mêmes performances de fertilisation avec une dose de 10 à 20% plus petite, et ce en raison de la plus grande quantité de $\text{NH}_4\text{-N}$ présente.

7.1.1

Éviter la propagation des maladies

Un millilitre de lisier peut contenir plus d'un milliard de micro-organismes. Certains de ces micro-organismes sont infectieux et peuvent provoquer des maladies chez les animaux et les humains. Il est donc essentiel de prendre des précautions lorsque le lisier est manipulé, et ce afin de minimiser le risque de propagation des maladies.

Cependant, lors du transport ou de l'application du lisier, de la biomasse dégazée ou de la boue, le risque de propagation de maladie d'un cheptel à l'autre demeure si l'équipement de transport et d'application est contaminé par des agents pathogènes dont la présence est due à des surcharges ou débordements et à un nettoyage inapproprié. Il est donc essentiel d'utiliser un équipement qui ne débordera et ne se renversera pas lors du remplissage. Il faut aussi veiller à ce que l'équipement soit bien entretenu et parfaitement étanche afin que les transports en surcharge ne posent pas de problème. Un nettoyage fréquent de l'équipement minimisera le risque de propagation de maladies.

En général, le risque de transmission de maladies à des cultures qui ne sont pas récoltées avant maturité, comme les céréales, reste infime. Ceci est dû au long temps qui s'écoule entre l'application du lisier et la récolte, en effet, les germes infectieux sont très efficacement éliminés par les rayons UV durant cette période.

Le plus grand risque de transmission de maladies est lié aux applications de lisier sur les herbages, des directives spécifiques doivent donc être suivies à cet égard.

La réglementation danoise s'appuie sur l'expérience selon laquelle la digestion anaérobie élimine efficacement les agents pathogènes indésirables.

Perte d'azote durant le stockage du lisier, en % de $\text{NH}_4\text{-N}$

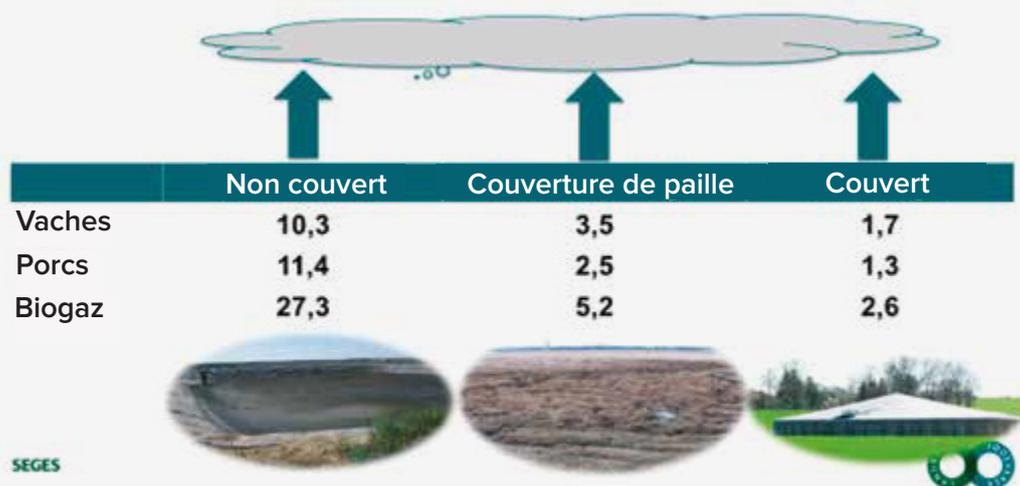


ILLUSTRATION 7.1

Pertes effectives selon différents types de stockage. Lars Villadsgaard Tøft, SEGES.

8 Recherche et développement

8.1

Les universités

Le Danemark compte plusieurs universités et instituts de recherche qui mènent des recherches sur la production de biogaz. L'objectif principal de ces travaux est de mettre à jour des méthodes qui permettent d'augmenter les performances de production du biogaz à base de fumier, et ce d'une manière durable. Il s'agit par exemple de trouver des techniques de prétraitement avancées, d'utiliser des additifs ou des enzymes, d'optimiser le mélange alimentaire et de développer l'utilisation de nouveaux substrats et autres déchets pour compléter les effluents d'élevage (comme la paille) pour augmenter le potentiel de production du biogaz.

8.1.1

Université d'Aarhus

L'université d'Aarhus (UA) est la plus grande université au Danemark, avec environ 42 500 étudiants et 11 500 personnes employées. L'université a défini en 2017 sa future stratégie de recherche avec la mise en place de centres de recherche stratégiques comme Watec - Centre de recherche sur l'eau et CBIO (Centre de bioéconomie circulaire). Le Département d'ingénierie dispose d'un portefeuille solide dans le domaine des technologies de bio-ressource, son objectif est la réalisation d'une société basée sur les bio-technologies et sur une bioéconomie circulaire. L'UA a continuellement investi dans des installations d'expérimentation de pointe dans le domaine de la recherche sur l'eau, du biogaz et du bioraffinage, se dotant d'équipements allant de l'analyse en laboratoire aux réacteurs pilotes et commerciaux. Elle exploite par exemple une centrale de méthanisation à taille réelle qui inclut une ligne de transport du gaz et un moteur à gaz. Elle exploite également une centrale d'essai en biogaz dotée de digesteurs de différentes tailles. Taille du digesteur : Centrale à taille réelle 1 200 m³, centrale d'essai 2 x 30 m³ et 2 x 10 m³. Plusieurs expériences sont en cours pour augmenter la production de gaz par prétraitement, tout en générant des produits de digestat très valorisables.

AU-Foulum dirige le groupe de recherche en biogaz de l'UA. Le groupe de recherche en biogaz de l'UA aborde de nombreux aspects industriels avec ses travaux sur la digestion anaérobie qui couvrent de nombreux domaines : le prétraitement, la surveillance des processus, la conception des réacteurs, les digesteurs à haut débit, l'impact environnemental, le raffinage du gaz, la séparation et les chaînes de valeur du digestat, etc. En plus de ces nombreuses années de recherche, l'équipe a également collaboré avec le secteur industriel afin de concevoir des centrales de méthanisation. Les infrastructures de biogaz existantes passent à un niveau de technologie supérieur, qui inclut des projets de méthanisation et power2x.

8.1.2

Université d'Aalborg

L'université d'Aalborg (UAA) a des années d'expérience dans le domaine du bioraffinage, de la production de biogaz et de la digestion anaérobie, ainsi que dans la mise en œuvre de projets reposant sur des systèmes bioénergétiques. Le biogaz aura un rôle important à jouer dans la réalisation des futurs objectifs issus de la politique énergétique de l'Union européenne (UE). La durabilité des substrats de biogaz a cependant été questionnée en raison de la part toujours croissante de terres agricoles qui est allouée à la production de cultures énergétiques. Des mesures de la capacité énergétique de la biomasse et du biogaz à partir d'une sélection de résidus agricoles potentiellement durables ont été effectuées afin d'améliorer les rendements du biogaz lorsqu'il est co-digéré dans la production de biogaz. Les types de biomasse



ILLUSTRATION 8.1

Centre de test à taille réelle de Foulum.

PHOTO Food & Bio Cluster Denmark.

résiduelle étudiés étaient : le fumier animal, les dérivés de paille utilisée dans la production céréalière, et les surplus d'herbe provenant des prairies et champs permanents ou alternés. Les résultats indiquent qu'il existe dans l'ensemble des États membres de l'UE des alternatives durables au maïs (principale culture énergétique utilisée), et ce dans une mesure suffisante pour assurer un développement progressif continu du secteur européen du biogaz.

Les principaux travaux de recherche reposent sur la structure et le rôle des communautés microbiennes dans les écosystèmes contraints, et principalement le traitement des eaux usées, la récupération biologique des ressources (comme le phosphore) et la production de bioénergie. Les microorganismes non cultivés sont observés d'après différentes méthodes omiques (métagénomique, méta transcriptomique, métagénomique et métabolomique), qui sont complétées par la microbiologie cellulaire, par exemple en utilisant la microscopie et les traceurs. Les recherches portent principalement sur les organismes impliqués dans l'élimination biologique de P et N, et sur les organismes qui provoquent la formation de mousse et les gonflements.

Université d'Aalborg

Centre de bioénergie et d'ingénierie verte
Campus de Esbjerg au Danemark.

Université d'Aalborg

Centre des communautés microbiennes
Département de chimie et des biosciences.

8.1.3

Université du Sud Danemark

L'université du Sud Danemark (USD) héberge de nombreuses activités en lien avec la recherche autour de la production de biogaz, avec une spécialisation sur l'utilisation des différents types de biomasse, les potentiels de production du gaz et l'optimisation des processus. Très récemment, un échantillonnage de données a été effectué sur un total de neuf systèmes de raffinage de biogaz, et ce afin de garantir la fiabilité des résultats. Grâce à un processus simple, le modèle permet de simuler un système de raffinage du biogaz individuel. Le modèle Excel fournira des informations sur l'économie du système, le coût de l'énergie et les flux d'énergie. Le modèle comprend quatre systèmes de raffinage traditionnels; le lavage aux amines, la PSA, le lavage membranaire et le lavage à l'eau, ainsi que trois méthodes de purification du biogaz assisté par hydrogène (HABU);

le catalyseur chimique, le raffinage du biogaz biologique sur site, et le raffinage du biogaz biologique hors site. De plus, une solution combinée a été ajoutée qui présente un filtre percolateur et un nettoyeur d'amine.

Spécialistes de la conversion de la biomasse en produits hautement valorisés par traitement biochimique, en bioremédiation aérobie et anaérobie pour la protection de l'environnement et la production de bioénergie.

- Optimisation du processus de DA et de la co-digestion dans la production de biogaz
- Analyse proche infrarouge non destructive du potentiel du méthane et des matières organiques récalcitrantes
- Analyse des données multivariées (chimométrie), modélisation PLS
- Technologie de traitement des eaux et boues usées
- Technologie de prétraitement et de pré-stockage pour la méthanisation
- Analyse de la chaîne de valeur du carbone
- Bioraffinage et bioéconomie

Département de chimie

Technologie biologique et environnementale
DU Biotechnologie
Campusvej 55
5230 Odense M, Danemark

8.1.4

Université de Roskilde

L'Université de Roskilde (UR) mène des recherches sur le biogaz car il existe encore un fort potentiel d'expansion au sein de la production de biogaz au Danemark et à l'international. Et puis, le biogaz est bien plus qu'une simple énergie renouvelable, ses bénéfices sur le climat, l'environnement et les communautés locales sont innombrables :

- Réduction des coûts d'achat des engrais.
- Augmentation de la production agricole corolaire à l'augmentation de l'azote disponible.
- Création d'une valeur pour les produits résiduels non utilisés (ex : la paille et les déchets industriels).
- Recyclage des nutriments.
- Création d'emplois au niveau local.

Centre universitaire Roskilde (CUR)

Universitetsvej 1
DK-4000 Roskilde, Denmark.

8.1.5

Université Technique du Danemark

L'Université Technique du Danemark (UTD) contribue au développement d'une technique de production du biogaz plus rentable, en ouvrant la voie vers une production de biocarburant pour les poids-lourds et les avions.

Le programme de développement et de démonstration des technologies énergétiques (PDUE) a octroyé plusieurs millions de couronnes danoises au projet eFuel, qui vise à développer une nouvelle technologie permettant de transformer le CO₂ émis par les centrales de méthanisation en méthane, ce qui pourrait devenir la principale matière verte ne reposant pas sur des ressources fossiles utilisée dans la fabrication de plastiques et carburants aéronautiques.

Le processus consiste à récupérer le CO₂ généré par les centrales de méthanisation, qui produisent à elles-seules jusqu'à 40% du CO₂ rejeté dans l'atmosphère à l'heure actuelle. La production de biogaz ne repose ainsi plus sur les énergies fossiles, et la récupération du CO₂ en augmente encore le profit.

La seconde matière première utilisée dans le processus est l'hydrogène, qui est produit à partir d'eau et d'électricité. Avec une part croissante d'énergie éolienne dans le réseau électrique, cette technologie est

également devenue l'un des moyens les plus sollicités pour stocker l'énergie éolienne.

La technologie eFuel augmentera le rendement de la biomasse de plus de 60%, ce qui rendra toujours plus rentable la transformation du biogaz en biocarburants avancés destinés aux secteurs du transport lourd et de l'aviation.

L'UTD possède un vaste champ d'expertise en ce qui concerne la production de biocarburant (biogaz, biohydrogène, bioéthanol), l'optimisation des processus anaérobies ainsi que le développement de solutions durables pour traiter les déchets organiques et les eaux usées. Le Groupe Bioénergie de l'UTD Environnement travaille dans les domaines suivants : Le biogaz, les biocarburants, l'électrochimie microbienne, les algues comme bioressource, et les bioraffineries.

Le Groupe Bioénergie de l'UTD travaille sur divers projets de bioraffinage où les déchets et les résidus sont convertis en divers bioproduits, en plus de l'énergie et des carburants. Pour illustrer cette nouvelle voie d'utilisation du biogaz, on peut citer la conversion microbienne du méthane en milieu aérobie, afin de créer des protéines à cellules uniques, qui peuvent ensuite être utilisées comme aliments pour animal. L'UDT a développé cette méthode dans le cadre d'un projet MUDP (FUBAF) mené conjointement avec différentes entreprises et la ville de Copenhague. Un autre bon exemple d'utilisation du CO₂ du biogaz avec des matières résiduelles organiques, c'est la production d'acide biosuccinique, une plate-forme chimique en tout point intéressante qui est utilisée dans une large gamme de produits finaux. Le concept passe actuellement à une échelle plus grande par le biais d'un projet financé par l'UE (Neosucces).

8.2

Les organismes de recherche

Au Danemark, il existe un grand nombre d'entreprises et d'institutions dotées d'énormes compétences en matière de conception, de planification, de mise en œuvre et d'exploitation d'une centrale de méthanisation. Certaines d'entre elles ont été mises en avant dans cette section.

8.2.1

Institut Technologique Danois

L'Institut technologique danois (ITD) a plus de 15 ans d'expérience dans le domaine de la chimie et de la biotechnologie propres à la méthanisation et aux applications de la biomasse. Ils aident les entreprises danoises et à l'international à développer, tester et vérifier des concepts, prototypes ou solutions commerciales, et les guident dans l'utilisation des nutriments issus des centrales de méthanisation.

Pour accompagner la transition vers une société tournée vers les bio-technologies, les centrales de méthanisation sont cruciales. Parallèlement à la valorisation des déchets organiques et de la biomasse résiduelle pour produire de l'énergie verte, les centrales de méthanisation permettent de recycler les nutriments et le carbone pour les réinjecter dans les terres cultivées. L'Institut Technologique Danois a plus de 10 ans d'expérience dans le développement et l'analyse de solutions ouvrant la voie à une utilisation optimale de la biomasse dégazée. Ses chercheurs peuvent effectuer des tests sur le terrain pour déterminer la valeur fertilisante du fumier dégazé, ou des produits qui en dérivent.

L'ITD offre son expertise en ce qui concerne :

- Le développement de technologies de séparation et de traitement avancé de la biomasse dégazée
- Les nouveaux produits fertilisants et d'amendement des sols à base de biomasse dégazée
- Les applications pour la fraction fibreuse
- Les possibilités d'amélioration de l'effet fertilisant dans la biomasse dégazée
- Les solutions à utiliser pour respecter les limitations de transmission du phosphore sur les terres agricoles

- Les évaluations économiques concernant l'investissement dans les technologies de biomasse dégazée
- La démonstration, les tests et essais des technologies de traitement des boues dégazées pour évaluer l'efficacité et la stabilité opérationnelle des différentes solutions.

Institut Technologique

Technologie biologique et environnementale
Agro Food Park 13
8200 Aarhus N, Danemark

8.2.2 Biogas Denmark

L'association pour l'industrie du biogaz a pour objectif d'assurer la transition vers une société qui ne reposerait plus sur les énergies fossiles. Pour cela, le fumier de bétail, des produits résiduels industriels et ménagers, les autres résidus organiques et la biomasse doivent être converties en énergies renouvelables respectueuses de la planète ainsi qu'en engrais qui permettront d'assurer l'approvisionnement énergétique et alimentaire à venir. L'association de l'industrie du biogaz représente tous les acteurs de la filière du biogaz : les producteurs de biogaz, fournisseurs d'installations et d'équipements, société de consulting, fournisseurs de biomasse, les secteurs de l'énergie, des transports, des déchets et de l'agriculture, les organismes de recherche, etc.

L'association de l'industrie du biogaz vise à promouvoir la production et l'utilisation du biogaz au Danemark, et dans le monde.

8.2.3 SEGES

SEGES et le Conseil consultatif agricole danois comptent plusieurs milliers de personnes qui agissent comme conseiller dans le domaine de l'agriculture, y compris le domaine des engrais.

SEGES apporte également son expertise dans la filière du biogaz, il dispose d'une longue liste de références qui couvre les fermes de biogaz, les centrales mixtes de biogaz, les stations d'épuration de biogaz industriels et les cuves de digestion anaérobie dans les stations d'épuration.

Les services de consulting de SEGES comprennent :

- La conception de système, d'équipement et de technique de surveillance pour les centrales de méthanisation
- Le calcul du bilan massique et énergétique, qui inclut l'analyse comparative des installations
- L'optimisation opérationnelle des centrales existantes, dont l'optimisation des processus biologiques, et évaluation des machines et des systèmes de contrôle
- L'audit lié à la certification de la biomasse et à la production de biogaz
- Les conditions particulières liées à la production de biomasse organique et de biogaz
- La réalisation des plans et la conception des systèmes d'assainissement, dont les mesures des échangeurs de chaleur pour le lisier et la boue afin qu'ils rentrent dans les centrales de chauffage et de biogaz
- La conception et l'optimisation des usines de traitement du soufre et des purificateurs d'odeur.

Les employés de SEGES sont cités dans de nombreux pays de par le monde, dont le Japon, la Chine, Taïwan, la Thaïlande, l'Afrique du Sud, la Bulgarie et d'autres pays européens.

En outre, SEGES réalise avec le plus grand sérieux toutes sortes de tâches (visuelles, d'estimation, etc.) en lien avec les échanges et les litiges, ainsi qu'avec les installations de biogaz. Le traitement d'autorité des tâches a lieu au Danemark en collaboration avec le Conseil consultatif agricole danois.

8.2.4 Food and Bio Cluster Denmark

Food & Bio Cluster Denmark est le groupement national de l'alimentation et des bioressources au Danemark. Nous sommes la plate-forme collective dédiée à l'innovation et à la croissance dans ce domaine, autant pour les entreprises danoises et à l'international, que pour les institutions tournées vers la recherche. Nous favorisons la coopération entre la recherche et les entreprises. Nous offrons de plus à nos membres du e-stop-shop un accès à l'ensemble des réseaux, au financement, au développement des affaires, aux projets et aux installations qu'il pourvoit. Nous proposons différents services de conseil, qui incluent la rédaction de demande de financement souple, l'organisation de tournées à thème et de missions commerciales, la rédaction de bilan sur n'importe quel sujet entrant dans notre domaine d'expertise, etc.

Vous pouvez vous rendre sur www.foodbiocluster.dk pour plus d'informations.

9 Sociétés, fournisseurs et conseillers

Les entreprises danoises ont à leur actif de nombreuses années d'expérience dans l'établissement et l'exploitation de la production de biogaz.

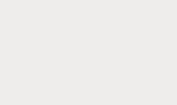
Ce que les sociétés danoises ont à offrir :

- Un savoir-faire et des conseils
- La fourniture d'équipement
- La fourniture d'installations complètes et de centrales
- Une collaboration autour de l'organisation
- La conception des centrales et la réalisation des plans
- Une collaboration autour de la mise en œuvre
- Une collaboration autour des opérations

Ce que les sociétés danoises fournissent :

- Des centrales de méthanisation clé-en-main
- Des usines de raffinage clé-en-main
- Des usines de prétraitement clé-en-main
- Des centrales de cogénération à moteur à gaz
- Des installations de refroidissement du gaz
- Des solutions de stockage

LOGO	CONTACT	DESCRIPTION	TRAITEMENT ET PRÉTRAITEMENT DE LA BIOMASSE	CLÉ-EN-MAIN INGÉNIERIE / CONSEIL	COMPOSANTS DE LA CENTRALE	CONDITIONNEMENT DU GAZ ET UTILISATIONS	UTILISATIONS DES ENGRAIS	R & D	AUTRE
	A-Consult Group A/S Indkildevej 6B DK - 9210 Aalborg SØ +45 9687 5800 www.aconsult.dk	A-Consult se spécialise dans la fourniture de solutions pour le stockage et le traitement des liquides dans les secteurs de l'agriculture, de l'eau, des industries et des énergies renouvelables. Nous sommes nés en 1986, depuis nous avons installé avec succès plus de 8 000 cuves à travers toute l'Europe.	●	●		●	●		
	AEM Engineering Hyrdengen 37 DK - 2625 Vallensbæk +45 2480 9024 www.aem-engineering.dk	Fournisseur de moteurs à gaz et générateurs FRICHS. Centrales électriques et groupes électrogènes à biogaz, gaz de gazéification et autre gaz combustible. Panneaux d'alimentation et de contrôle SIVACON. Systèmes de contrôle et d'alarme. Installation, service et maintenance des moteurs FRICHS et autres grandes marques.		●	●	●			
	Aikan A/S Vadsbystræde 6 DK - 2640 Hedehusene 45 4399 5020 www.aikan.dk	Depuis 20 ans, Aikan A/S propose des solutions puissantes visant à développer un recyclage des déchets et une production d'énergie réellement durables. Aikan traite les déchets solides quelles que soient leur source et la purification souhaitée, ce qui comprend le prétraitement des déchets et la gestion des produits destinés à l'utilisateur final, peu importe les coûts d'installation et de fonctionnement.	●	●			●	●	
	Ammongas A/S Ejby Mosevej 5 DK - 2600 Glostrup +45 4363 6300 www.ammongas.dk	Ammongas A/S produit des centrales environnementales clé-en-main destinées à la purification de l'air et du gaz, ce qui inclut le lavage du biogaz aux amines, la séparation et la concentration de l'ammoniac, les systèmes d'épuration et les filtres à charbon actif.		●		●			
	BBK bio airclean A/S Linneuropvej 5 DK - 7160 Tørring +45 7567 6066 www.BBK.dk	Biofiltre BBK pour l'élimination des odeurs. En investissant dans un biofiltre BBK, vous investissez dans une bonne entente avec votre voisinage et les autorités locales. Nous sommes sur le marché depuis 1992 et avons déjà fourni des biofiltres à plusieurs installations au Danemark, en Norvège, en Suède, en Finlande, en Angleterre, en Écosse, en Espagne et en Biélorussie.							●
	BioCover A/S Veerst Skovvej 6 DK - 6600 Vejen +45 2963 4936 www.biocover.dk	Le système SyreN stabilise le lisier durant l'épandage. Il bloque les émissions d'ammoniac, ce qui fait passer le taux d'utilisation de l'azote à 80%, et permet souvent de gagner plus de 50 kg d'azote par Ha. Grâce à lui, les plantes ont à leur disposition jusqu'à 40% de phosphore en plus, et la bonne quantité de soufre est distribuée sous la forme d'engrais sulfaté.					●		
	Biogasclean A/S Magnoliavej 10 DK- 5250 Odense SV +45 6617 2177 www.biogasclean.com	Biogasclean A/S fournit des systèmes de désulfuration biologique entièrement automatisés qui ont un faible coût d'exploitation, une haute disponibilité, et garantissent d'excellents résultats sans avoir recours à des produits chimiques. Plus de 270 références fournissant un gaz propre à plus de 580 MW de moteurs à gaz.			●	●			
	Birodan A/S KC ProSupply Alsvej 21 DK - 8940 Randers SV +45 8644 8734 www.birodan.dk	BIRODAN A/S est une société KCProSupply détenue par Makeen Energy Group. Nous offrons une large gamme d'équipements à gaz et nos spécialistes qualifiés peuvent vous orienter vers le produit qu'il vous faut. Honeywell Krom Schröder n'est qu'un exemple des nombreuses marques de haute qualité que nous proposons.			●	●			
	Byggeri & Teknik I/S Birk Centerpark 24 DK - 7400 Herning +45 4024 3081 www.byggeri-teknik.dk	Conception et planification de l'installation des bâtiments réservés aux animaux d'élevage, qui inclut les systèmes de lisier correspondants comme le stockage, le pompage, etc.		●			●		●
	C.K. Environment A/S Walgerholm 3 DK - 3500 Værløse +45 4498 9906 www.cke.dk	Depuis plus de 20 ans, C.K. Environment A/S propose des solutions de pointe pour la filière du biogaz, parmi lesquelles on retrouve l'analyse de différents paramètres comme le CH ₄ , H ₂ S, CO ₂ , O ₂ , COV et NH ₃ , ainsi que l'échantillonnage de la biomasse, l'indice de WOBBE, et les mesures de débit et de niveau.	●	●	●	●		●	
	C-Biotech Fruebjergvej DK - 2100 Copenhagen +45 2882 9953	C-Biotech est une entreprise dont le rôle est de vous aider à porter de nouvelles technologies sur le marché. Nous entretenons des liens étroits avec le milieu scientifique, et nous souhaitons fournir des technologies testées techniquement et scientifiquement aux producteurs de biogaz de la filière danoise et scandinave, avec une ouverture sur le marché européen.	●		●			●	

LOGO	CONTACT	DESCRIPTION	TRAITEMENT ET PRÉTRAITEMENT DE LA BIOMASSE	CLÉ-EN-MAIN INGÉNIERIE / CONSEIL	COMPOSANTS DE LA CENTRALE	CONDITIONNEMENT DU GAZ ET UTILISATIONS	UTILISATIONS DES ENGRAIS	R & D	AUTRE
	Combigas ApS Ryttervangen 11C DK - 7323 Give +45 2779 1346 www.combigas.dk	Combigas conçoit, développe, installe et intervient sur des solutions de biogaz complètes. Notre technologie de méthanisation transforme les déchets organiques en une énergie propre et durable et en engrais valorisable.		●					
	Copenhagen Capacity Nørregade 7b 3 ^{ème} étage DK - 1165 Copenhagen 45 4022 1436 www.copcap.com	Copenhagen Capacity aide les entreprises et les investisseurs en dehors du Danemark à repérer les opportunités commerciales de la région du Grand Copenhague, et à les concrétiser. La production et l'utilisation du biogaz au Danemark sont fortement encouragées et soutenues par les initiatives du gouvernement et ses objectifs environnementaux ambitieux. Le puissant secteur agricole du pays, avec ses 25 millions de porcs, constitue une base solide pour l'industrie du biogaz.	●	●	●	●	●	●	
	Danish Biogas Consulting Garmestervej 18B DK - 8600 Silkeborg +45 8683 7483 danskbiogasraadgivning.dk	Offre des services de consulting à chacune des étapes de production du biogaz : de la planification au développement de projets, en passant par la conception, la mise en œuvre, l'exploitation et la maintenance. Les services comprennent les analyses de laboratoire, la surveillance et l'optimisation biologiques, ainsi que la certification de durabilité.	●	●	●	●	●	●	●
	Danish Energy Agency Carsten Niebuhrs Gade 43 DK - 1577 Copenhagen +45 3392 6700 www.ens.dk/en	La division Bioénergie de la Danish Energy Agency élabore les cadres réglementaires visant à garantir l'application des directives issues de l'UE, ainsi que le développement durable du secteur danois du biogaz. L'Agence est également chargée de développer et administrer les programmes d'aide à la méthanisation.							●
	Institut Technologique Danois Kongsvang Alle 29 DK - 8000 Aarhus C +45 7220 2000 www.teknologisk.dk	L'ITD a plus de 15 ans d'expérience à son actif sur l'ensemble des aspects de la production et de l'utilisation du biogaz. Nous fournissons des services aux entreprises danoises, et à l'international, en lien avec les matières premières de biomasse, l'optimisation des processus, les études de faisabilité, ainsi que les essais et tests autant en laboratoire qu'au niveau de l'équipement pilote.	●	●	●	●	●	●	
	Institut Technologique Danois - AgroTech Agro Food Park 15 DK - 8200 N Skejby +45 72 20 32 95 www.dti.dk	L'Institut Technologique Danois - AgroTech - possède plus de 30 années d'expérience dans le secteur du conseil et du développement de technologies visant à palier les difficultés rencontrées dans le champ large de la digestion anaérobie. Nos clients sont des entreprises, des agriculteurs ou des administrations.	●		●	●	●	●	●
	Dansk Ventil Center A/S Ferrarivej 14 DK - 7100 Vejle +45 7572 3300 www.dvcas.dk	Dansk Ventil Centre A/S fournit des vannes à la filière biogaz depuis de nombreuses années. Nos produits sont conçus à un niveau high-tech, mais ils sont cependant proposés à des prix compétitifs grâce à nos innovations et aux fortes quantités que nous produisons à l'international.			●				
	EnviDan A/S Vejlsøvej 23 DK - 8600 Silkeborg +45 8680 6344 www.envidan.dk	Nos experts en biogaz ont une connaissance poussée des installations de biogaz, leurs conseils en matière de méthanisation ont bénéficié à un grand nombre de projets danois et internationaux : études de faisabilité, réflexion sur le processus, conseils légaux, appels d'offres et supervision.		●					
	Eurofins Agro Testing Denmark A/S Ladelundvej 85 DK - 6600 Vejle +45 7660 4242 www.eurofins.dk/agro	Eurofins Agro Testing Denmark A/S est accrédité et de fait autorisé à effectuer des analyses dans le secteur agricole. Nous effectuons des tests analytiques, nous fournissons de la documentation et proposons des solutions sur mesure pour les centrales de méthanisation, et pour toute personne impliquée dans les produits organiques pour la production de biogaz, la bioénergie, l'alimentation et le compost.	●		●	●	●	●	
	Food & Bio Cluster Denmark Agro Food Park 13 DK - 8200 N Skejby +45 8999 2500 www.foodbiocluster.dk	Food & Bio Cluster Denmark est le groupement national de l'alimentation et des bioressources au Danemark. Nous sommes la plate-forme collective dédiée à l'innovation et à la croissance dans ce domaine, autant pour les entreprises danoises et à l'international, que pour les institutions tournées vers la recherche.						●	●
	Frichs Pyrolysis ApS Sverigesvej 14 DK - 8700 Horsens +45 4036 7165 www.frichs-pyrolysis.dk	La minéralisation thermique - une méthode permettant de réduire le taux de CO ₂ . En minéralisant la biomasse sèche à des températures élevées et dans un milieu anaérobie, nous extrayons le carbone du circuit et l'empêchons de se transformer en CO ₂ . Le gaz a un pouvoir calorifique élevé et peut par exemple produire de l'électricité et de la chaleur via un générateur de gaz.	●	●		●		●	

LOGO	CONTACT	DESCRIPTION	TRAITEMENT ET PRÉTRAITEMENT DE LA BIOMASSE	CLÉ-EN-MAIN, INGÉNIERIE / CONSEIL	COMPOSANTS DE LA CENTRALE	CONDITIONNEMENT DU GAZ ET UTILISATIONS	UTILISATIONS DES ENGRAIS	R & D	AUTRE
	Gemidan Ecogi A/S Drivervej 8 DK - 6670 Holsted +45 7678 2101 www.ecogi.dk	La technologie Ecogi a été développée sur la base de nos années d'expérience dans le domaine du traitement des déchets. La technologie impose de nouvelles normes en matière de pureté de la pulpe, particulièrement en ce qui concerne le taux de concentration en plastique. Ecogi est connu pour générer un produit de substrat sans pareil qui a reçu la certification ETV pour sa pureté et sa qualité.	●		●				
	Hexa-Cover A/S Vilhelmsborgvej 5 DK - 7700 Thisted 45 9617 7800 www.hexa-cover.dk	Notre Hexa-Cover® fonctionne d'une manière exceptionnelle sur n'importe quelle surface solide ou liquide. La couverture flottante Hexa-Cover® s'utilise sur quasiment toutes les formes de bassins, fosses, réservoirs, conteneurs, mares et cuves. Depuis son lancement en 2004, la couverture flottante Hexa-Cover® a été choisie pour un grand nombre d'installations de par le monde, ce qui fait de la couverture flottante Hexa-Cover®, la solution leader sur le marché.	●		●				
	Hybridfilter A/S Industrivej 8 DK - 8740 Brædstrup +45 8657 1700 www.hybridfilter.dk	Chez Hybridfilter, nous développons et fournissons des filtres biologiques conçus pour neutraliser l'hydrogène gazeux. Depuis 2012, nous avons acquis une large expérience dans le secteur des eaux usées, et nous alimentons environ 70% des installations. Dans la filière biogaz, nos livraisons ont débuté en 2016 et elles ont décollé en 2018.	●		●				
	Højgaards ApS Føjbergkirkevej 51 DK - 7620 Lemvig +45 9789 3012 www.hojgaards.dk	Højgaards produit et développe des pompes, des mélangeurs et des procédés de séparation. Chaque composant est intégré à un processus afin d'en optimiser l'utilisation au quotidien. L'automatisation et les produits «intelligents» peuvent vous permettre d'augmenter votre productivité. Nous avons plus de 50 ans d'expérience.	●		●				
	Kemira Oyj Amager Strandvej 390 DK - 2770 Kastrup +45 6991 8893 www.kemira.com	Pour obtenir un haut rendement en biogaz et un faible coût de purification, il est capital de maintenir des niveaux de sulfure d'hydrogène faibles. Le portefeuille de produits Kemira BDP est ce qu'il y a de plus efficace pour contrôler les niveaux de sulfure dans le digesteur.	●			●			
	Kinetic Biofuel A/S Solbjergvej 19 DK - 9574 Bælum +45 21640090 ou +45 21495940 www.kineticbiofuel.com	Une nouvelle technologie de prétraitement des résidus agricoles, comme la paille de céréales, qui permet une co-digestion avec les fumiers d'élevage au sein des centrales de méthanisation. Le procédé est basé sur une technologie de briquetage mécanique qui génère des explosions de vapeur et permet aux briquettes de paille d'absorber jusqu'à 7 fois plus après le briquetage. Des lignes complètes à 500 kg / h et plus peuvent être livrées.	●						
	Landbrug & Fødevarer F.m.b.A. - SEGES Agro Food Park 15 DK - 8200 Aarhus N +45 8740 5000 www.seges.dk/en	SEGES couvre tous les aspects de l'agriculture et de la gestion des exploitations, et possède également une connaissance approfondie en termes de gestion et d'utilisation des nutriments. SEGES offre également des services de consulting en biogaz, et a de plus conçu et optimisé l'exploitation de nombreuses fermes de biogaz et de centrales communes de méthanisation.	●	●	●	●	●	●	●
	Landia A/S Industrivej 2 DK - 6940 Lem St. +45 9734 1244 www.landia.dk	Landia fournit des solutions de pointe pour le pompage et le brassage à de nombreux secteurs, dont l'agriculture et la filière biogaz. Les équipements Landia sont particulièrement connus pour leur efficacité à traiter les liquides difficiles à manipuler, ainsi que leur simplicité d'entretien. Plus d'infos sur w.landiaworld.com	●		●				
	Lind Jensens Maskinfabrik A/S Kroghusvej 7, Højmark DK - 6940 Lem St. +45 9734 3200 www.ljm.dk	Lind Jensen Biogas a plus de 30 ans d'expérience dans la fabrication, l'entretien et la commercialisation d'équipements de pointe conçus pour le traitement de la biomasse et autre matière dans une centrale de méthanisation. Notre objectif est de livrer le meilleur produit, de la meilleure qualité, au meilleur prix à nos clients du monde entier.			●				
	LSH-Biotech ApS Katrineholmsalle 62 DK - 8300 Odder +45 2960 3008 www.lsh-biotech.dk	LSH-BIOTECH est une entreprise tournée vers la recherche qui possède des années d'expérience dans la conception, la planification et le développement d'équipements spécialisés, principalement dans le domaine de la technologie du biogaz. Nos solutions reposent ainsi sur une connaissance solide du métier, alliée à notre expertise technique.	●	●	●	●			●
	Lundsby Biogas A/S Hjarbækvej 65 DK - 8831 Løgstrup +45 9649 4300 www.lundsbybiogas.dk	Gérer et construire des centrales de méthanisation clé-en-main en appliquant une technique simple, durable, et flexible pour proposer des solutions personnalisées basées sur la qualité et l'expérience. Nous collaborons avec divers fournisseurs d'installations d'unités de valorisation, pour que les centrales fournissent un gaz biométhane au réseau de gaz naturel. Nous participons à l'examen des centrales électriques / de chauffage s'il celui-ci est requis.	●	●	●	●	●	●	●

LOGO	CONTACT	DESCRIPTION	TRAITEMENT ET PRÉTRAITEMENT DE LA BIOMASSE	CLÉ-EN-MAIN/ INGÉNIERIE / CONSEIL	COMPOSANTS DE LA CENTRALE	CONDITIONNEMENT DU GAZ ET UTILISATIONS	UTILISATIONS DES ENGRAIS	R & D	AUTRE
	Nature Energy Biogas Ørbækvej 260 DK - 5220 Odense SØ +45 70 22 40 00 www.natureenergy.dk	Nature Energy est le premier fournisseur de bio-méthane au Danemark, avec 10 centrales en fonctionnement produisant plus de 170 millions de m³ de bio-méthane chaque année, ce qui fait de Nature Energy l'un des plus gros producteurs de bio-méthane au monde. Les intrants sont principalement constitués de fumier animal et de déchets alimentaires. De nouvelles centrales usines sont en phase de construction et de développement.	●	●	●	●	●	●	●
	NISSEN energy A/S Godthaabsvej 1 DK - 8660 Skanderborg +45 7575 6500 www.nissenenergy.com	NISSEN Energy livre des services et produits visant à assurer une production rentable d'énergie durable : unités de cogénération, systèmes de traitement du gaz pour le biogaz, usines de raffinage de transformation en gaz naturel renouvelable, brûleurs et chaudières à faible émission de NOx.	●	●	●	●			
ON:OFF MANAGEMENT	ON/OFF Management ApS Toldboden 3, 1 sal D DK - DK-8800 Viborg +45 2943 7648 www.onoffmanagement.dk	Plus de 30 années d'expérience dans la filière biogaz, au niveau national et international. Compétences dans les domaines suivants : analyse de rentabilisation et développement de projets, gestion de projets, conception de centrales de méthanisation, mise en application, mise en service, coopération et optimisation.		●					
	PlanEnergi Jyllandsgade 1 DK - 9520 Skørping +45 9682 0400 www.planenergi.dk	PlanEnergi est une fondation qui prodigue des conseils aux clients qui ont pour objectif de préparer, mettre en œuvre puis exploiter des systèmes d'énergie renouvelable. Les services de consulting de PlanEnergi comprennent la planification, la conception, les appels d'offres, la supervision durant la construction, la mise en service et l'optimisation de l'exploitation d'une centrale de méthanisation.	●	●	●	●	●	●	●
	PurFil ApS Blaabaervej 61 DK - 5260 Odense S +45 4015 8777 www.purfil.com	PurFil® propose une gamme de nouveaux modules de séparation «sans consommation de produits chimiques» destinée aux déchets liquides : PURROT® - PURUF® - PURRO® - PURNIT® - PURDRY® et PURCOMP®. Vendus sous la forme de modules (comme les pièces de LEGO) et en fonction du degré de pré / post séparation requis dans l'élevage, l'usine de traitement des eaux usées ou la centrale de méthanisation.	●	●	●	●	●		
	Ramboll A/S Hannemanns Allé 53 DK - 2300 Copenhague +45 5161 1000 www.ramboll.com/energy	Ramboll a plus de 30 ans d'expérience dans la production de biogaz, ses services de consulting ont été sollicités pour la plupart des centrales à grande échelle construites dernièrement en Scandinavie. Nous conseillons les producteurs de biogaz, les entreprises de traitement des eaux usées et de gestion des déchets, les administrations locales / centrales, les développeurs de projets, les investisseurs et les banques.		●					●
	Renew Energy A/S Kullinggade 31 DK - 5700 Svendborg +45 6222 0001 www.renewenergy.dk	Société de services d'ingénierie en biogaz spécialisée dans la digestion anaérobie et dans les solutions de séparation avancées. Nous avons plus de 30 années d'expérience dans la conception, l'ingénierie, l'approvisionnement, la maîtrise d'œuvre, la mise en service et en opération dans les secteurs de l'agriculture, l'alimentation et la distillation.	●	●	●	●	●	●	●
	SAMSON AGRO A/S Vestermarksvej 25 DK - 8800 Viborg +45 8750 9300 www.samson-agro.com	SAMSON AGRO est un fabricant danois de machines et d'équipements de haute qualité destinés à l'application des engrais organiques. Nous fournissons le monde entier. Notre objectif est de répondre à la demande du secteur agricole à l'échelle mondiale, et de fournir des solutions qui optimisent l'utilisation des nutriments et permettent d'épandre les effluents d'élevage de manière efficace et respectueuse de l'environnement.					●		
	Stjernholm A/S Birkmosevej 1 DK - 6950 Ringkøbing +45 7020 2505 www.stjernholm.dk	Stjernholm joue un rôle central dans le marché du traitement de l'eau, que ce soit dans les stations d'épuration publiques et privées, les systèmes d'égouts ou les usines des eaux du pays. Nous nous basons sur un savoir à la pointe de la modernité, et nous cherchons constamment à renouveler nos connaissances pour les injecter dans nos solutions.	●		●				
	Université technique du Danemark (UTD) Bygningstorvet, Building 115 DK - 2800 Lyngby +45 4525 2525 www.dtu.dk	L'UTD est une université technique qui a pour mission le développement et la recherche pour que notre société puisse valoriser les sciences naturelles et techniques. Elle a été classée meilleure université scandinave, 49 ^e meilleure université en Europe et 119 ^e meilleure université au monde selon le «Leiden Ranking 2019 - impact».							●
	Adresse	Unibio est une société leader de biotechnologie industrielle basée au Danemark, dont les compétences maitresses résident dans la fermentation basée sur l'utilisation du méthane ou du biogaz concentré comme matière première. Unibio a développé une technologie de fermentation innovante et unique - l'U-Loop® - qui transforme le méthane issu de n'importe quelle source en un produit protéique organique hautement concentré.	●	●	●				●

LOGO	CONTACT	DESCRIPTION	TRAITEMENT ET PRETRAITEMENT DE LA BIOMASSE	CLÉ-EN-MAIN, INGÉNIEURIE / CONSEIL	COMPOSANTS DE LA CENTRALE	CONDITIONNEMENT DU GAZ ET UTILISATIONS	UTILISATIONS DES ENGRAIS	R & D	AUTRE
	UNI-LINK ApS Sustainable Fuels Lysabildgade 63 DK - 6470 Sydals +45 5121 0019 www.uni-link.dk	Approvisionnement durable en combustible - UNI-LINK ApS fournit de la biomasse issue des produits de déchets agricoles. Résidus d'olives sous forme de marc (galets) ou granules.	●						
	Université du Sud Danemark Campusvej 55 DK-5230 Odense Mw www.sdu.dk/en/	L'USD a un large éventail d'activités dans le domaine du biogaz, toutes tournées vers une transition verte visant à valoriser les matières premières en biogaz. Expert en 1) Technologies avancées de prétraitement de la biomasse 2) Analyse spectroscopique non destructive de la biomasse pour obtenir rapidement les potentiels méthaniques 3) Configuration avancée des bioréacteurs pour la fermentation séquentielle et le processus de digestion anaérobie 4) Modélisation du système de biogaz via la chaîne de valeur du carbone 5) Raffinage du biogaz associant la capture du CO2 avec la conversion directe en produits valorisés. Nous avons exploré la conception et le développement de nouveaux réacteurs de biométhanisation tant en laboratoire que lors d'essais pilote, et ce en étroite collaboration avec l'industrie danoise du biogaz.	●	●				●	
	Westcome Heat Exchangers A/S Saloparken 14 DK - 8300 Odder +45 2811 9105 www.westcome.com	Westcome Heat Exchangers A/S développe et fournit des échangeurs de chaleur à contre-courant pour les centrales de méthanisation, les usines de traitement des eaux usées et toutes les industries où une variation thermique est requise sur les flux de matière sèche. Nos échangeurs de chaleur fonctionnent à des vitesses d'écoulement très faibles, la perte de charge sur les échangeurs de chaleur est donc infime, ce qui entraîne une réduction de la consommation d'énergie pour les pompes à boue de 70 à 80%, par rapport aux échangeurs de chaleur classiques. Nos échangeurs de chaleur sont soudés hermétiquement et dénués de joint, nous avons calculé que leurs coûts de maintenance étaient inexistantes et nous garantissons qu'ils sont conçus pour éviter l'encrassement et les arrêts. Les échangeurs de chaleur peuvent être fournis dans n'importe quelles dimensions (longueur, largeur et hauteur). Ils peuvent de plus peuvent fonctionner avec des débits différents sur des circuits séparés.	●		●				
	WH-PlanAction Consulting Engineers ApS Danmarksvej 8 DK - 8660 Skanderborg +45 8745 3900 www.wh-pa.dk	Cabinet de conseils au projet indépendant dédié aux investisseurs et producteurs de biogaz. Avec 25 ans d'expérience, nous pouvons proposer à nos clients la planification, la conception et la création d'installations. Nous garantissons également la mise en place d'opérations rentables et modernes de méthanisation ainsi que la livraison d'un engrais amélioré aux agriculteurs.	●	●	●	●	●	●	
	Wing Consult A/S Holtumvej 14 DK - 7400 Herning +45 7669 8384 www.wingconsult.com	Un système de gestion efficace, adapté au secteur de l'énergie - notamment la production et la commercialisation de biogaz certifié - qui garantit un fonctionnement, une documentation et une traçabilité totalement sécurisées. Wing Consult A/S a développé un Master Management System (MMS-Energy) dédié, qui répond à toutes les exigences en matière de documentation de l'équilibre de la biomasse, de potentiel et durabilité de la production et de commercialisation du biogaz selon les certifications REDCert, ISCC a.o. De plus, le MMS-Energy comprend des installations qui permettent un fonctionnement et une maintenance sécurisés. MMS-Energy est basé sur navigateur, sa plate-forme informatique s'intègre facilement aux autres plates-formes informatiques comme les logiciels de comptabilité.							●
	Université d'Aalborg Niels Bohrs vej 8 DK - 6700 Esbjerg +45 2166 2511 www.et.aau.dk	L'AAU est une université réputée au Danemark avec son ensemble de facultés. Les programmes d'ingénierie sont classés parmi les 4 meilleurs au monde. Nous réalisons toutes sortes d'études de durabilité et de projets de transition verte pour la planète, dont de grands projets dans les domaines des énergies renouvelables, de l'efficacité énergétique et des économies. L'éolien, le solaire et la bioénergie, qui englobe le biogaz, sont les principales énergies renouvelables. La recherche et les projets sur le biogaz et la DA ont été au cœur de nos travaux ces 25 dernières années avec des projets internationaux, des ateliers et des programmes de formation.	●				●	●	●

REFERENCES

1. DES EFFLUENTS D'ÉLEVAGE À L'ÉNERGIE

Etats, technologies et innovations au Danemark 2012 Agro Business Park.

2. PRESENTATION, ENS MARTS 2019

Bodil Harder

3. RAFFINER LE BIOGAZ - GUIDE TECHNIQUE

Energiforsk 2016

4. LE BIOGAZ AU DANEMARK

www.biogasbranchen.dk

5. DGC, LE RAFFINAGE DU BIOGAZ

Rapport de projet, septembre 2017

6. ENERGIFORSK 2016

7. LE BIOGAZ AU DANEMARK

Bruno Sander Nielsen 21-04-2020

8. GUIDE DU BIOGAZ EN SCANDINAVIE

Différents aspects de planification d'une centrale de méthanisation, ABP 2014

9. PTX I DANMARK FØR 2030

Energinet, avril 2019

10. SEGES

Lars Villadsgaard Toft, SEGES.

11. BIOGASCLEAN

Note avril 2020, Reza Jan Larsen

12. NATURE ENERGY

Note avril 2020, Jørgen Fink

13. NETTOENERGIPRODUKTION I VANDSEKTOREN

Niras, dec. 2017

14. LE BIOGAZ : PRATIQUES ET RECHERCHES

Expériences de l'Université d'Aarhus

15. KEMIRA NOTE 13-05-2020

Précipitation chimique

16. LES UTILISATIONS DU BIOGAZ

Britt Nilsson et Anna-Marie Bøgh Public

13-05-2020, Kemira Oyj P.O.Box 330, FI-00101 Helsinki, Finlande



Food & Bio Cluster
Denmark

Niels Pedersens Allé 2
DK - 8830 Tjele
+45 8999 2599

56 www.foodbioclusterdk