



# La méthanisation en voie sèche discontinue

## Guide et préconisations

**Les différentes techniques, les principes de fonctionnement...**

**Réfléchir, concevoir, construire, démarrer et exploiter une installation...**

FEVRIER 2018

Ce document est issu de la mission réalisée par Biogaz ingénierie pour le compte de l'ADEME Bourgogne-Franche-Comté sur les installations de méthanisation par voie sèche discontinuée sur la Bourgogne-Franche-Comté. Lors de ce travail, des audits de sites et des propositions de bonnes pratiques ont été réalisées.

Ce document rédigé par Biogaz ingénierie et l'ADEME Bourgogne-Franche-Comté synthétise les principaux éléments de ce travail.

Contact :

**Biogaz Ingénierie**

18 place Monge 21 200 BEAUNE

Tél : 03 80 26 08 87

Contact : M. DUTREMEE Stéphane

Mail : [sdutremee@biogaz-ingenierie.fr](mailto:sdutremee@biogaz-ingenierie.fr)



**ADEME Bourgogne-Franche-Comté**

44 rue de Belfort 25 000 BESANCON

Tél : 03 81 25 50 00

Contact : M. AUCORDONNIER Bertrand

Mail : [bertrand.aucordonnier@ademe.fr](mailto:bertrand.aucordonnier@ademe.fr)



Remerciements pour leur relecture et leurs apports :

Julien THUAL – ADEME

Lionel SIBUE - ADEME

Ivan DESNEULIN – MéthAnov

Sebastien POMMIER – LISBP, INSA de Toulouse

## TABLE DES MATIERES

<b>1</b>	<b>PREAMBULE – PRESENTATION DE LA FILIERE VOIE SECHE DISCONTINUE</b>	<b>6</b>
1.1	HISTORIQUE	6
1.2	PRINCIPE TECHNIQUE	7
1.3	PRESENTATION DES DIFFERENTES TECHNOLOGIES	8
1.3.1	<i>Concept silos bâchés</i>	8
1.3.2	<i>Concept fosses « Piscines »</i>	8
1.3.3	<i>Concept garages</i>	9
1.3.4	<i>Concept box</i>	9
1.4	PRINCIPE BIOLOGIQUE	10
1.4.1	<i>Populations bactériennes</i>	10
1.4.2	<i>Circulation des bactéries au sein du digesteur</i>	11
1.4.3	<i>Chauffage et température de fonctionnement</i>	12
1.5	AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA TECHNOLOGIE VOIE SECHE DISCONTINUE	13
1.5.1	<i>avantages</i>	13
1.5.2	<i>Inconvénients</i>	13
<b>2</b>	<b>REFLECHIR UN PROJET EN VOIE SECHE DISCONTINUE</b>	<b>14</b>
2.1	TAILLE DE PROJET, PUISSANCE, ECONOMIE D'ECHELLE	14
2.2	INTRANTS, RATIONNEMENT ET CARACTERISTIQUES DE LA DIGESTION	17
2.2.1	<i>Caractérisation des matières</i>	17
2.2.2	<i>Saisonnalité des matières</i>	18
2.2.3	<i>Etude de cas du stockage de fumiers avant méthanisation</i>	18
2.2.4	<i>Temps de séjour</i>	22
2.2.5	<i>Incorporation de digestat solide</i>	25
2.2.6	<i>Préparation de la matière</i>	27
2.2.7	<i>Aspersion</i>	29
2.3	TYPE DE VALORISATION DU BIOGAZ	30
<b>3</b>	<b>CONCEVOIR UN PROJET EN VOIE SECHE DISCONTINUE</b>	<b>31</b>
3.1	DECOUPAGE DE L'UNITE	31
3.1.1	<i>Digesteurs</i>	31
3.1.2	<i>Stockages</i>	31
3.1.3	<i>Zone de préparation de la matière</i>	32
3.1.4	<i>Zone de propreté</i>	32
3.2	PERSPECTIVES D'EVOLUTION DU SITE	32
3.3	PROBLEMATIQUES REGLEMENTAIRES	33
3.3.1	<i>Urbanisme</i>	33
3.3.2	<i>Zones naturelles/Cours d'eau</i>	33
3.3.3	<i>Agrément sanitaire</i>	33
3.4	PRINCIPES CONSTRUCTIFS – POINTS DE VIGILANCE	34

3.4.1	<i>Génie civil</i>	34
3.4.2	<i>Isolation des digesteurs</i>	37
3.4.3	<i>Chauffage</i>	38
3.4.4	<i>Gestion du gaz</i>	40
3.4.5	<i>Métrologie</i>	41
3.4.6	<i>Soupapes de sécurité gazomètres et enceintes</i>	43
3.4.7	<i>Système de fixation du gazomètre</i>	44
3.4.8	<i>Protection face au gel</i>	45
3.4.9	<i>Points spécifiques aux procédés en garages</i>	46
<b>4</b>	<b>CONSTRUIRE UN PROJET EN VOIE SECHE DISCONTINUE</b>	<b>48</b>
4.1	REGLEMENTATION	48
4.1.1	<i>L'obtention d'un Permis de Construire</i>	48
4.1.2	<i>L'autorisation d'exploiter au titre des ICPE</i>	48
4.1.3	<i>L'autorisation de défrichage</i>	49
4.1.4	<i>Agrément sanitaire</i>	50
4.1.5	<i>Voiries</i>	50
4.1.6	<i>Déclaration d'intention de commencement de travaux (DICT)</i>	51
4.1.7	<i>Déclaration préalable de coordination d'opérations de bâtiment et de génie civil</i>	51
4.1.8	<i>Obligation d'achat</i>	51
4.2	ASSURANCES	52
4.2.1	<i>Assurances du Maître d'ouvrage</i>	52
4.2.2	<i>Assurances du constructeur ou Maître d'œuvre</i>	53
4.2.3	<i>Assurances des entreprises intervenant sur le chantier</i>	53
<b>5</b>	<b>METTRE EN SERVICE UNE INSTALLATION EN VOIE SECHE DISCONTINUE</b>	<b>55</b>
5.1	ESSAIS EN EAU DES RESERVOIRS	55
5.2	TESTS EN PRESSION DES CANALISATIONS	55
5.3	TESTS DES GAZOMETRES	55
5.4	REGLAGE DE LA MESURE DU NIVEAU DU GAZOMETRE	56
5.5	REGLAGE ET ETALONNAGE DES CAPTEURS	56
5.6	REGALAGE ANALYSEUR BIOGAZ	56
5.7	REGLAGES DE L'AUTOMATISME ET DES ALARMES	56
5.8	REGLAGE DES SOUPAPES	57
5.9	REGLAGE DES NIVEAUX LIQUIDES	57
<b>6</b>	<b>METTRE AU POINT UNE INSTALLATION EN VOIE SECHE DISCONTINUE</b>	<b>58</b>
6.1	MIX DE RATIONNEMENT	58
6.1.1	<i>Adapter le mix</i>	58
6.1.2	<i>Adapter la préparation de la matière</i>	58
6.2	TEMPS DE SEJOUR	59
6.3	PERCOLATS	59

6.3.1	<i>Réglage de températures des percolâts</i>	59
6.3.2	<i>Réglage du phasage de percolation</i>	60
<b>7</b>	<b>EXPLOITER UNE INSTALLATION EN VOIE SECHE DISCONTINUE</b>	<b>61</b>
7.1	METHODES DE PILOTAGE DU RATIONNEMENT DE L'UNITE DE PRODUCTION	61
7.2	PARAMETRES A SURVEILLER	61
7.2.1	<i>Température de fonctionnement</i>	61
7.2.2	<i>Percolâts</i>	62
7.2.3	<i>Biogaz</i>	62
7.3	OPERATIONS DE MAINTENANCE ET DE SURVEILLANCE DES CAPTEURS ET EQUIPEMENTS	63
7.4	SECURITE DES INTERVENTIONS	64
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONS ET OUVERTURES</b>	<b>65</b>
8.1	RETOURS D'EXPERIENCE ET POINTS DE VIGILANCE TECHNIQUES ET ECONOMIQUES	65
8.1.1	<i>Les intrants</i>	65
8.1.2	<i>Génie civil</i>	65
8.1.3	<i>Gestion des percolâts</i>	65
8.1.4	<i>Portes et pré-portes</i>	66
8.1.5	<i>Temps d'exploitation</i>	66
8.2	AXES DE RECHERCHE ET DE DEVELOPPEMENT POUR L'AVENIR DE LA METHANISATION EN VOIE SECHE DISCONTINUE	66

## 1 PREAMBULE – PRESENTATION DE LA FILIERE VOIE SECHE DISCONTINUE

Ce document apporte de nombreux éléments de réflexion autour de la méthanisation par voie sèche discontinue et pour l'élaboration d'un projet. Il est issu **d'une réflexion globale autour de cette filière menée depuis plusieurs années par l'ADEME Bourgogne-Franche-Comté** afin de développer cette technique particulièrement adaptée à certaines zones d'élevage de la région. En 2017, une étude a été confiée au bureau d'études Biogaz ingénierie afin d'auditer les installations en voie sèche discontinue de la région et d'élaborer des préconisations suite aux observations et aux différents retours d'expériences.

Pour autant, **ce document ne donne pas de recettes magiques** permettant de réussir son projet de méthanisation par voie sèche discontinue. Il donne seulement **des pistes de réflexions et des points d'attention afin d'anticiper et minimiser les risques**. De plus, il n'est pas exhaustif, tant sur les points de vigilance que sur les retours d'expériences et sur les différentes recherches qui peuvent être menées sur le sujet. Ainsi, il est amené à s'enrichir et à être complété à l'avenir.

Il porte néanmoins l'objectif d'être un élément **dans le développement d'une filière de méthanisation par voie sèche discontinue de qualité, sûr et efficace** permettant son développement. Sa mise à jour et son enrichissement se veut partenariale, chacun peut ainsi apporter des éléments de réflexions, de retours d'expériences ou de corrections. Des éléments supplémentaires seront apportés dans l'année 2018 suite à de nouvelles études et à ses retours.

Les commentaires sont à envoyer conjointement à :

[bertrand.aucordonnier@ademe.fr](mailto:bertrand.aucordonnier@ademe.fr)

[ivan.desneulin@methanov.com](mailto:ivan.desneulin@methanov.com)

### 1.1 HISTORIQUE

Les origines de la méthanisation en voie discontinue sont floues, cependant les premières recherches en laboratoire notoires sur ce sujet remonteraient aux années 1940, pendant lesquelles Isman et Ducellier, respectivement professeur et chef du laboratoire à l'ENAA, entreprennent des recherches sur ce concept.

Le regain d'intérêt pour la méthanisation depuis quelques années a permis l'émergence de nouveaux systèmes/concepts de digestion en voie sèche discontinue, bien qu'une très large majorité des installations aujourd'hui en France fonctionnent en voie liquide. Le procédé en voie sèche présente en effet de nombreux avantages, aussi bien au niveau technique qu'au niveau des pratiques d'épandages par exemple.

Sur la région Bourgogne Franche-Comté, les installations de type voie sèche discontinue sont au nombre de 7. Au niveau national, on dénombre une quarantaine d'installations en voie sèche discontinues.

## 1.2 PRINCIPE TECHNIQUE

L'avantage premier de la méthanisation en voie sèche discontinue est de pouvoir traiter un mix de matière avec une teneur en matière sèche élevée (au-delà de 20%), le mix se présentant alors sous forme de tas solide.

Le principe du procédé est d'intégrer la matière solide à digérer dans l'enceinte de digestion, de façon séquentielle, de refermer hermétiquement l'enceinte, et de laisser digérer la matière pendant un intervalle de temps donné.

La matière estensemencée par un percolât liquide aspergé sur le tas de manière régulière. Ce percolât est récupéré dans la partie inférieure de l'enceinte de digestion, puis stocké dans une fosse à percolât prévue à cet effet, dans l'attente d'être à nouveau aspergé sur le tas en digestion.

Le biogaz produit lors de la digestion anaérobie est stocké en gazomètre directement au-dessus de l'enceinte de digestion, ou de manière déportée.

Une fois la digestion d'une enceinte terminée, selon un temps de séjour déterminé, celle-ci est vidée de son digestat, et un nouveau tas de matière à digérer est mis en place.

La production de biogaz dans ce procédé étant séquentielle, plusieurs enceintes de digestion sont généralement mises en place en parallèle (quatre enceintes au minimum, de façon générale), afin de lisser la production de biogaz, comme représenté schématiquement dans la figure ci-dessous :

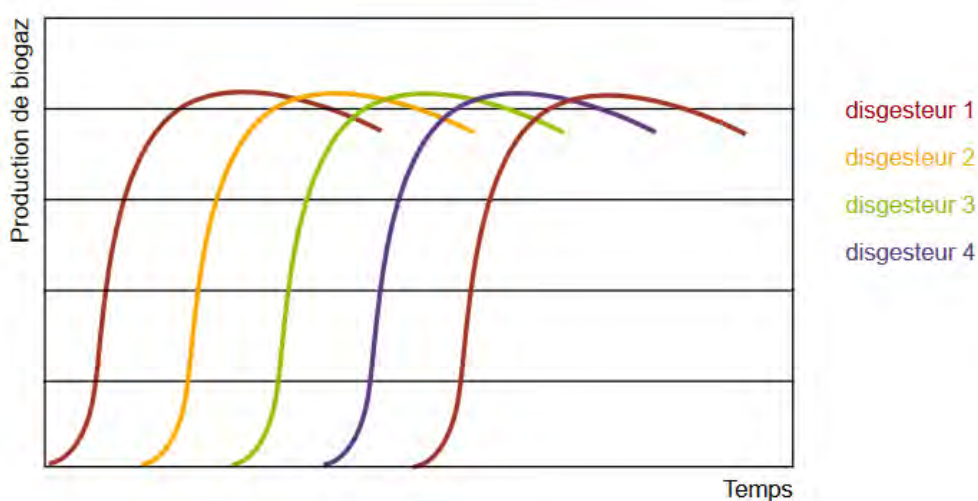


Figure 1 : Schéma représentatif de la production de biogaz dans le temps, pour un procédé voie sèche discontinu

*(La méthanisation agricole en voie sèche discontinue, ADEME BFC)*

## 1.3 PRESENTATION DES DIFFERENTES TECHNOLOGIES

Différentes technologies de procédés en voie sèche discontinue sont présentes sur le marché de la méthanisation, présentant chacune leurs avantages et inconvénients propres.

### 1.3.1 CONCEPT SILOS BACHES

Le concept « silos bâchés » est le plus répandu en France parmi les installations en voie sèche discontinue. Les digesteurs sont des silos type silos à fumier ou à ensilage, comportant ou non une pente pour la récupération des jus, et recouverts d'une membrane faisant office de gazomètre. Cette membrane doit être pliée à chaque déchargement, et remise en place lors du démarrage de la fermentation, faisant de la manutention sur ces étapes. De nouvelles techniques permettent de mécaniser cette étape d'ouverture/fermeture de la bâche facilitant le travail mais entraînant un coût d'investissement plus important.



Figure 2 : Photographie d'un digesteur de type silo bâché ouvert (source photo : biogaz ingénierie)

### 1.3.2 CONCEPT FOSSES « PISCINES »

La différence par rapport aux silos bâchés est que le remplissage des fosses de digestion se fait ici par le haut à l'aide d'une pelle mécanique, rendant le chargement plus rapide et aisé que pour des silos bâchés avec des moyens de manutention appropriés. La membrane servant de gazomètre doit également être pliée lors du déchargement du digestat, et remise en place à la fin de la manutention. Des systèmes avec un toit béton à poser sur les fosses commencent à apparaître.



Figure 3 : Photographie d'une installation piscine dans la Loire (source photo : ADEME BFC)



### 1.3.3 CONCEPT GARAGES

Les digesteurs du concept « garages » se présentent sous la forme de garages de digestion en béton, surmontés d'un gazomètre, ou bien surmontés d'une dalle béton avec un gazomètre déporté sur une autre cuve, et s'ouvrant par le biais d'une porte, comme le montre la photo ci-dessous :



Figure 4 : Installation en voie sèche discontinue, concept garages (Source : Installation Naskéo Méthajade en Côte d'Or)

Le remplissage des digesteurs est facilité par rapport aux concepts « silos bâchés » et « fosses piscine », car il ne demande pas de manipulation du gazomètre, et le chargement se fait sur une surface plane et non en pente. Cependant, une étape d'inertage de la zone de digestion est nécessaire avant d'y faire pénétrer un engin, pour éviter tout risque lié à l'atmosphère chargée en biogaz du digesteur (explosion, asphyxie...). De plus, cette technologie implique des structures béton plus imposantes, et une conception plus complexe, donc des investissements plus élevés que pour des silos bâchés ou des fosses.

### 1.3.4 CONCEPT BOX

Enfin, il existe des installations de **méthanisation réalisées dans des box**. Le principe est le même que les systèmes de garage mais à plus petite échelle puisque les caissons font environ 30 m<sup>3</sup>. Les caissons sont fixes et ne doivent pas être transportable afin d'éviter une usure rapide.



Figure 5 : Installation en voie sèche discontinue, concept caissons

(Source : Installation Mobigas, Pottinger, photos CdC du clunisois)

## 1.4 PRINCIPE BIOLOGIQUE

### 1.4.1 POPULATIONS BACTERIENNES

Le processus de digestion anaérobie fait intervenir plusieurs populations de bactéries, produisant chacune leur tour des intermédiaires de réaction, et conduisant finalement à la production de méthane.

La symbiose de ces populations et leur bon équilibre permet le bon fonctionnement du réacteur et une bonne dégradation de la matière. Les populations de bactéries mises en jeu sont les suivantes :

- Les bactéries hydrolytiques, qui transforment la matière organique complexe en matière organique plus simple ;
- Les bactéries acidogènes, qui vont créer des acides gras volatiles à partir de cette matière organique simple ;
- Les bactéries acétogènes qui produisent de l'acétate, du CO<sub>2</sub> et de l'H<sub>2</sub> ;
- Les bactéries méthanogènes acétoclastes qui utilisent l'acétate pour produire du méthane ;
- Les bactéries méthanogènes hydrogénotrophes, qui utilisent l'H<sub>2</sub> et le CO<sub>2</sub> pour produire du méthane.

Voici un schéma récapitulatif du fonctionnement de ces populations bactériennes :

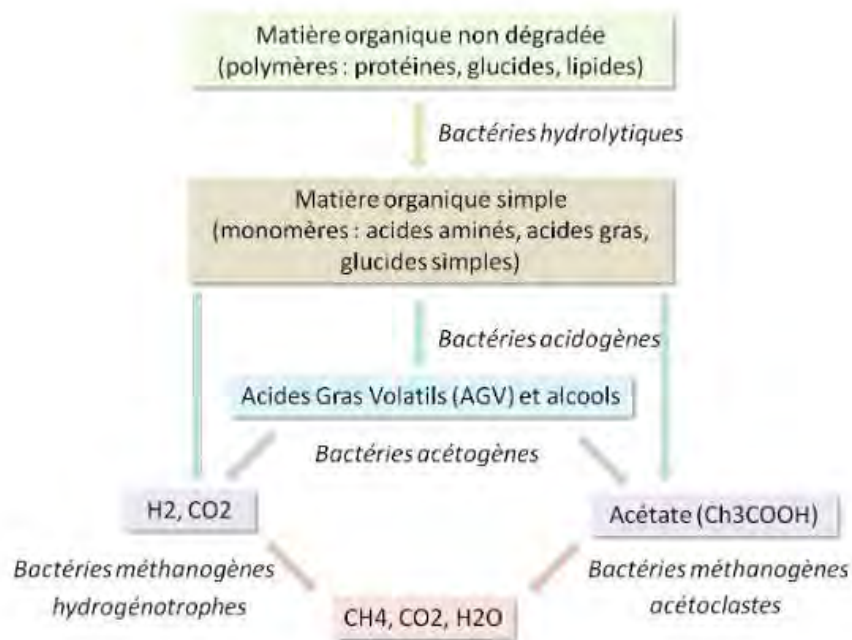


Figure 6 : Diagramme de fonctionnement de la symbiose bactérienne lors de la digestion anaérobie

(Source : [http://www.aile.asso.fr/wp-content/uploads/2013/07/CR\\_presentation-Phillipe-Delfosse\\_avec-ppt\\_2011-06-21](http://www.aile.asso.fr/wp-content/uploads/2013/07/CR_presentation-Phillipe-Delfosse_avec-ppt_2011-06-21))

#### 1.4.2 CIRCULATION DES BACTERIES AU SEIN DU DIGESTEUR

Afin de dégrader la matière, les bactéries responsables du phénomène de méthanisation doivent être en **contact avec leur substrat**. Cela implique qu'elles soient en mouvement de manière perpétuelle (ou alors que suffisamment de microorganismes soient maintenus dans le tas car il est fortement humide et tamponné). Ce mouvement perpétuel de la biologie est réalisé en voie liquide par l'agitation mécanique dans les cuves de digestion, et est facilité par l'aspect liquide de la matière. En voie sèche, ce mélange est plus complexe, car le tas en digestion est statique.

Comme l'illustre le schéma ci-dessous, on peut dire qu'en voie liquide, le milieu bactérien est en place dans le digesteur, et que c'est la matière à digérer qui circule, alors que l'inverse se produit en voie sèche.

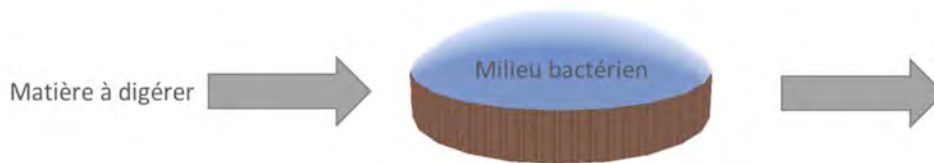


Figure 7 : Schématisation du fonctionnement bactérien en voie liquide (source : Biogaz ingénierie)



Figure 8 : Schématisation du fonctionnement bactérien en voie sèche discontinue (source : Biogaz ingénierie)

**Le renouvellement du milieu bactérien est donc réalisé grâce au système de percolation** : du liquide chargé en milieu bactérien et chauffé (ou non) est envoyé sur le tas en digestion. Ce liquide va percoler à travers le tas de manière gravitaire, et être récupéré en partie basse du digesteur, à travers un système de caniveaux et de puisards propre à chaque constructeur et à chaque concept. Le percolât est ensuite renvoyé dans sa cuve de stockage, dans laquelle il est généralement chauffé. La cuve à percolât sert dans certains cas de gazomètre où viennent se mélanger les différents biogaz issus des digesteurs.

D'une manière générale la circulation de jus au sein des digesteurs a plusieurs fonctions :

- Apporter de l'eau au milieu afin d'humidifier et rendre biodisponibles des zones sèches du tas,
- Apporter de la chaleur pour maintenir des températures propices à la méthanisation,
- Apporter du pouvoir tampon et des nutriments pour rendre les conditions plus favorables au développement bactérien,

- Apporter des microorganismes afin d'inoculer le substrat et initier la biodégradation,
- Evacuer dans les jus des substances potentiellement inhibitrices dans une optique de nettoyer l'environnement des bactéries.

Un des paramètres aujourd'hui mal évalués dans la méthanisation en voie sèche discontinue est la manière dont la structure du tas évolue pendant la digestion, notamment le tassement, et également la manière dont les percolâts peuvent créer des chemins préférentiels au sein du tas.

Ces phénomènes mal connus sont susceptibles d'altérer la qualité de la digestion et de générer des problématiques de procédé.

---

### 1.4.3 CHAUFFAGE ET TEMPERATURE DE FONCTIONNEMENT

#### PLAGES DE FONCTIONNEMENT

Le procédé de méthanisation peut fonctionner sur différentes plages de température. Le fonctionnement mésophile est la plage de température la plus courante, quel que soit le type de procédé utilisé. Dans ce cas, la température de fonctionnement dans le digesteur est située entre 38°C et 45°C.

Une autre plage de fonctionnement utilisée est la plage thermophile, avec des températures allant de 50°C à 58°C dans le digesteur. La quantité de chaleur consommée est donc plus élevée que dans le cadre d'un fonctionnement mésophile, mais la réaction est également plus rapide, et le temps de séjour peut donc être plus court. Il est généralement admis que la biologie dans cette plage des températures est moins stable et donc généralement plus difficile à maîtriser du fait des paramètres techniques plus sensibles.

#### LE CHAUFFAGE EN VOIE SECHE DISCONTINUE

Plusieurs options existent pour chauffer le milieu de digestion en voie sèche discontinue. Elles sont utilisées de manière combinée ou pas selon le constructeur de l'unité de méthanisation.

La plupart du temps, la ou les **cuves à percolât** sont **chauffées**. Ainsi, lorsque le percolât chaud est aspergé sur le tas, il réchauffe celui-ci. Le système de chauffage peut être un serpentín en inox dans l'enceinte de la cuve, ou bien un chauffage en polyéthylène intégré ou non au béton.

Un **système de chauffage** peut également être installé au sein des **digesteurs**, dans le béton des radiers ou des murs de ces derniers en tout ou partie.

Une **préparation aérobie de la matière** peut également être opérée, avant d'intégrer la matière à digérer dans le digesteur. Les réactions aérobies rentrant en jeu dans cette préparation sont très exothermiques, c'est-à-dire qu'elles vont dégager de la chaleur, et donc faire monter le tas en température. Cette option n'est pas un système de chauffage à proprement dit, mais elle permet de faire entrer un tas déjà chaud dans l'enceinte du digesteur et accélérer le début de réaction.

## 1.5 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA TECHNOLOGIE VOIE SECHE DISCONTINUE

### 1.5.1 AVANTAGES

La première raison pour laquelle certains porteurs de projet se tournent vers la voie sèche discontinue est la **forte teneur en matière sèche** de leur gisement, et l'impossibilité pour eux de trouver un gisement liquide (eaux, lisiers) suffisant pour diluer leur mix de manière économiquement cohérente. La méthanisation en voie sèche discontinue permet de traiter ce type de mix.

Les porteurs de projets sont également séduits par le fait que le procédé en voie sèche produit un **digestat solide, plus simple à épandre**. Cet aspect est d'autant plus avantageux dans des contextes de terrains peu propices à l'épandage liquide (en pente par exemple). De plus, le matériel d'épandage des matières solides est **plus économique** à l'investissement que pour les liquides (tonne à lisier).

La « **rusticité** » du procédé en voie sèche discontinue permet de **traiter des produits contenant des indésirables** (ferrailles, cailloux, etc...), sans craindre d'endommager les pièces mécaniques du procédé (agitateurs, pompes...). Le procédé permet également d'incorporer des produits ligneux qui ne produiront pas de biogaz mais n'entraîneront pas de difficultés comme en voie liquide (dépôt, sédimentation, blocage de pompes...). Ces éléments ligneux peuvent même avoir un intérêt pour aérer le tas dans les digesteurs.

Le modèle en voie sèche discontinue demande également **moins d'équipements** qu'en voie liquide (pompes, brasseurs...), la **quantité d'énergie** dépensée, notamment électrique, par le procédé en lui-même est donc moindre.

### 1.5.2 INCONVENIENTS

Quel que soit le concept de réalisation (fosses, silos, ou garages), le procédé en voie sèche discontinue induit un **besoin en main d'œuvre** non constant, à chaque **chargement et déchargement des digesteurs**. Cette charge est à considérer absolument dans la logistique et le business plan de l'unité, afin d'appréhender correctement le fonctionnement technique et économique de l'unité. Cela implique également un fonctionnement important du chargeur ou du télescopique.

En voie sèche discontinue, la matière doit être préparée (pré-compostée) avant d'entrer dans les enceintes de digestion. Cette phase de **préparation de matière** induit également un **besoin en main d'œuvre**. La charge de main d'œuvre est d'autant plus élevée si le procédé implique une **manipulation de la bâche** à charge chargement de matière. Pour les procédés en garages, la mise en place de porte évite cet inconvénient, mais ajoute des problématiques techniques d'**étanchéité des portes** au biogaz et jus.

Le procédé voie sèche discontinu est également un procédé plus jeune et avec **moins de retour d'expérience** que le procédé en voie liquide. Certains paramètres sont donc moins bien maîtrisés par les constructeurs, et font encore l'objet de recherches afin d'être mieux appréhendés, comme l'évolution de la structure du tas en digestion selon sa composition, ou encore sa capacité à absorber, ou à relarguer du liquide (mix déficitaires ou excédentaires en eau).

La dégradation des matières est également moins efficace qu'en voie liquide infiniment mélangée. En effet, le milieu n'étant pas homogénéisé durant la digestion, les conditions de transfert de matière et de chaleur sont moins bonnes que dans le cadre de la voie liquide infiniment mélangée rendant la **digestion moins efficace**, et induisant généralement un moins bon rendement biogaz produit/matière utilisée.

## 2 REFLECHIR UN PROJET EN VOIE SECHE DISCONTINUE

Autant que les éléments techniques et économiques, le contexte dans lequel se place le porteur de projet doit être un élément central de la réflexion sur l'organisation du projet d'installation de méthanisation. Les éléments suivants font partie des points à bien prendre en compte lors de la conceptualisation du projet.

**Les moyens humains disponibles pour la méthanisation.** Les moyens humains disponibles pour le suivi et la main d'œuvre sur l'unité de méthanisation doivent être correctement repérés par le concepteur. Si un exploitant est déjà pris à 100% par son exploitation agricole, celui-ci doit pouvoir être disposé à embaucher une personne, consacrée à la méthanisation. Si la main d'œuvre nécessaire n'est pas prévue, le projet s'expose à l'échec, car les charges de travail demandées seront humainement insoutenables.

**Les moyens de manutention disponibles pour la méthanisation.** La ferme peut-elle mettre à disposition des engins de manutention pour la méthanisation (chargeurs, télescopiques...) ? Quels engins sont à prévoir dans le budget d'investissement de l'unité de méthanisation ?

**La vision du porteur de projet en termes de taille de projet.** Le porteur de projet souhaite-t-il créer un projet seul, ou commun avec d'autres exploitations ? Souhaite-t-il ouvrir le capital de la société à ses apporteurs de matières ? Quels types de matières seront apportées ?

**La nature des terrains à épandre.** Comment l'exploitant va-t-il pouvoir épandre le digestat, et à quelle fréquence ? Se trouve-t-il en zone vulnérable, ou y a-t-il des contraintes climatiques particulières induisant des périodes d'épandage restreintes ?

### 2.1 TAILLE DE PROJET, PUISSANCE, ECONOMIE D'ECHELLE

Les retours d'expérience en méthanisation par voie sèche discontinue laissent entrevoir différentes gammes de projets correspondant à certaines techniques ou niveau de technicité de l'installation.

Les petites installations (moins de 100 kWél) correspondent plutôt à un modèle d'installation de type silo avec une fermeture par bâche ou bien avec un toit amovible. Une rentabilité sera possible grâce à des investissements plus réduits, un génie civil moins complexe, une automatisation réduite sur le procédé et des charges réduites. Cette gamme peut convenir au système de méthanisation par box (l'économie sur le génie civil est largement compensé par le coût des box engendrant une rentabilité qui reste difficile pour des projets avec des intrants peu énergétiques) et sous réserve de la fiabilité technique de ces technologies.

Des installations plus importantes (entre 200 et 400 kWél) seront plutôt sous forme de garage, le génie civil et l'automatisation de l'installation engendrant des coûts fixes importants. Des installations en silo avec une fermeture automatique de la bâche et une automatisation importante peuvent également être envisagées à ces puissances. Entre 100 et 200 kWél, un choix devra être fait entre les différentes techniques.

Pour des installations plus importantes (plus de 10 000 tonnes), la méthanisation par voie sèche discontinuée n'est pas impossible mais semble moins pertinente du fait de la manutention importante de la matière. Dans ce cas, des installations par voie sèche **continue** de type piston peuvent être envisagées sous réserve qu'elles soient adaptées aux matières entrantes (attention aux matières fibreuses comme le fumier dans des installations plutôt conçues pour traiter des biodéchets).

Le choix final **de la puissance du moteur** en fonction des gammes disponibles peut être délicat. En effet, en méthanisation par voie sèche discontinuée, la production de biogaz n'est pas constante dans le temps et, selon la technologie, elle peut varier de manière assez importante. Le choix de la puissance doit bien prendre en compte ces variations de sorte à limiter d'éventuelles pertes de méthane lors de la pleine production mais également éviter de sur-dimensionner le moteur. Une puissance plus importante peut permettre aux exploitants d'avoir une certaine souplesse par rapport à la ration initiale, aux différents régimes de fonctionnement, voire même de pouvoir accepter de nouveaux intrants pour augmenter la production. Cependant, le rendement d'un moteur de cogénération est optimal lorsque celui-ci est utilisé à pleine puissance. Lorsque le moteur fonctionne à une puissance moindre, son rendement se dégrade, comme le montre les deux graphiques ci-dessous, correspondant respectivement à un moteur de 250kW, et un moteur de 65kW :

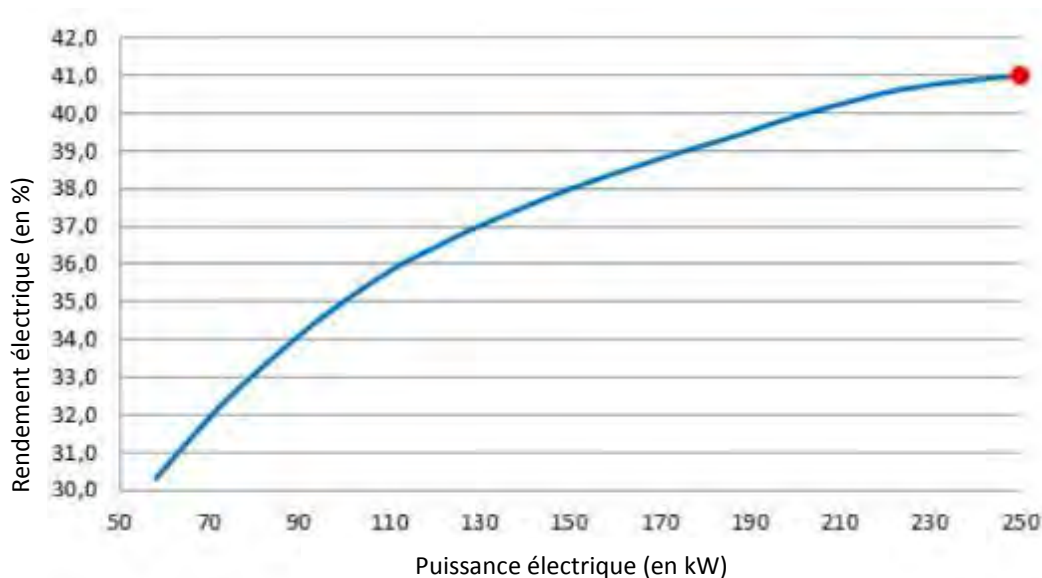


Figure 9: Courbe d'efficacité pour un moteur de 250kW (source : Biogaz ingénierie)



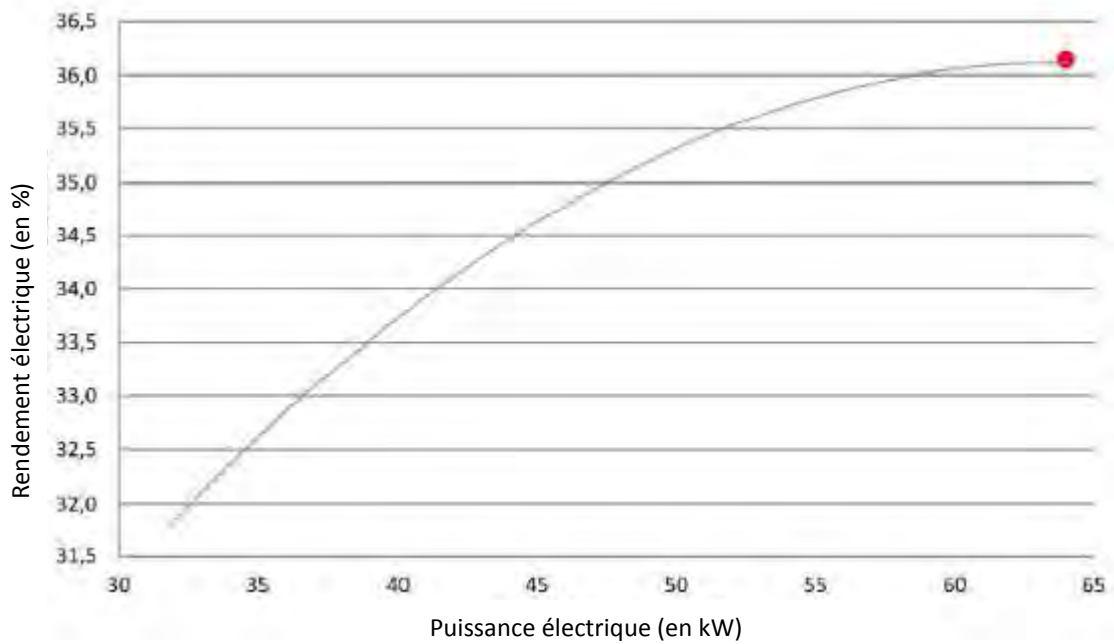


Figure10 : Courbe d'efficacité pour un moteur de 65kW (source : Biogaz ingénierie)

A titre d'exemple, le moteur de 250kW, utilisé à 72% de sa puissance, c'est-à-dire à 180kW, a un rendement électrique de 39%, au lieu de 41% s'il est utilisé à puissance maximale. Cette baisse de rendement doit être prise en compte dans le calcul de la productibilité prévisionnelle. L'usure du moteur et la maintenance supplémentaire lors d'un fonctionnement en sous régime doit également être considéré.



## 2.2 INTRANTS, RATIONNEMENT ET CARACTERISTIQUES DE LA DIGESTION

La détermination de la ration de la future unité de méthanisation est le point de départ de la conception du projet.

### 2.2.1 CARACTERISATION DES MATIERES

Les **analyses réalisées sur la matière** afin de déterminer son potentiel de production de gaz sont déterminantes pour dimensionner correctement l'installation, et réaliser un business plan au plus juste. Les analyses peuvent être réalisées sous la forme de véritables **potentiels méthanogènes**, avec **courbe cinétique**, notamment pour les intrants peu connus, cependant un bon point de départ pour les intrants connus tels que le fumier, peut-être une **caractérisation de base** pour connaître le taux de matière sèche et de matière organique de l'intrant. Cela peut notamment être suffisant pour les intrants dont on sait que le potentiel méthanogène en fonction de la matière sèche varie peu, comme les fumiers.

De plus, les tests de potentiel méthanogène donnent une valeur maximale de la production d'énergie d'un substrat dans un environnement adapté. Il est donc nécessaire de prendre des précautions sur la production prévisionnelle de biogaz dans une installation. Concernant la voie sèche en particulier, il est nécessaire de prendre en compte que la **dégradation de la matière** se fait globalement **moins bien en voie sèche qu'en voie liquide**. Cette considération peut être prise en compte en appliquant un facteur pénalisant sur potentiel méthanogène classique d'un minimum de 20%.

Afin d'avoir la meilleure estimation possible et limiter les incertitudes sur la production, des **essais en pilote sont conseillés**. Dans ce cas, les pilotes s'approchent des conditions réelles de digestion.

Les matières entrantes en méthanisation par voie sèche discontinues doivent éviter de rendre le tas trop hermétique ce qui aura pour conséquence de gêner voire bloquer la circulation l'écoulement des jus dans le tas et de créer des zones mortes qui ne produiront pas de biogaz et des nappes de liquide. Un fumier trop mou ou des marcs de pommes sont des intrants pouvant poser souci. Dans ce cas, il est nécessaire de limiter le tonnage entrant de ces matières et de bien les mélanger avec d'autres matières plus fibreuses (fumier pailleux, voir broyat de bois ou de déchets verts).

Un autre point de vigilance concerne l'équilibre en nutriments et en sels minéraux du mélange. La recirculation continue de la phase liquide peut provoquer une accumulation de nutriment notamment d'azote qui va se minéraliser au fur et à mesure des cycles. C'est pourquoi, il est nécessaire de réaliser des analyses régulières des jus pour prévenir ces problèmes. Pour les résoudre, il est nécessaire d'évacuer régulièrement une partie des jus et de diluer avec de l'eau de pluie.

A l'inverse, certains substrats (les pailles par exemple) peuvent être carencés en nutriments (azote en particulier, mais aussi oligoéléments). Ces carences peuvent fortement ralentir voir totalement inhiber les activités microbiennes. Il faut alors trouver une source d'approvisionnement (cosubstrat liquide ou solide) permettant d'équilibrer les rations.

### 2.2.2 SAISONNALITE DES MATIERES

Les **aspects de saisonnalité** sont également à analyser avec attention, tout d'abord afin de **dimensionner correctement les stockages** d'intrants, mais aussi afin de prendre en compte une éventuelle **diminution du potentiel méthanogène lors du stockage**. Cet aspect est également important pour prévoir les éventuelles **variations de production** de biogaz au cours de l'année, et pour gérer les **contraintes logistiques** qui en découlent. Le dimensionnement des enceintes peut aussi être impacté selon la densité de matières dans le temps, de par leur nature et proportion dans le mix de rationnement.

### 2.2.3 ETUDE DE CAS SUR LES DIFFERENCES D'ANALYSES ET L'IMPACT DU STOCKAGE DE FUMIERS AVANT METHANISATION

L'ADEME Bourgogne a réalisé en 2013 une étude dont les objectifs étaient de :

- Connaître le potentiel énergétique de fumier de bovin allaitant et avicole en sortie d'étable et après un mois de stockage ;
- Voir l'inhibition du fumier de volaille du fait de l'excès d'azote ;
- Etudier les différences de résultats entre les tests labo et à l'échelle pilote.

Les analyses ont été réalisées sur quatre matières brutes, deux mélanges et quatre digestats.

Matières analysées		Remarques
Matières brutes	Fumier bovin frais	fumier de bovin allaitant (vaches, veaux), la litière utilisée est constituée de paille à hauteur de 10 kg/j/vache
	Fumier bovin 1 mois	même fumier que précédemment stocké 1 mois en fumière non couverte
	Fumier volaille frais	fumier de poulet de chair, la litière utilisée est constituée de paille, le fumier est sorti des bâtiments tous les 85 jours
	Fumier volaille 1 mois	même fumier que précédemment stocké 1 mois en fumière non couverte
Mélanges	50% / 50 %	50% fumier volaille frais / 50% fumier bovin allaitant frais
	75% / 25%	75% fumier volaille frais / 25% fumier bovin allaitant frais
Digestat	Digestat fumier bovin	obtenu à partir du pilote de fumier bovin allaitant frais
	Digestat fumier bovin 1 mois	obtenu à partir du pilote de fumier bovin allaitant stocké 1 mois
	Digestat mélange 50/50	obtenu à partir du pilote du mélange 75% fumier volaille frais / 25% fumier bovin allaitant frais
	Digestat mélange 75/25	obtenu à partir du pilote du mélange 50% fumier volaille frais / 50% fumier bovin allaitant frais

Les essais se sont déroulés en trois parties :

- 1- la **caractérisation biochimique** des matières : sur les 8 produits précédents
- 2- la réalisation des **tests de potentiel méthanogène** : sur les 4 matières brutes et les deux mélanges
- 3- la réalisation des essais de **simulation en réacteur pilote** discontinu voie sèche : sur le fumier de bovin frais, le fumier de bovins stocké 1 mois et les deux mélanges.

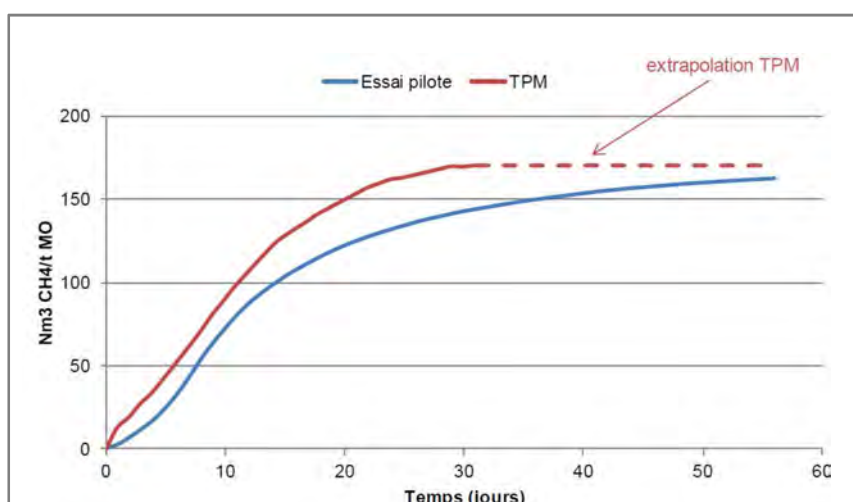
Le tableau suivant synthétise les résultats obtenus des tests de potentiel méthanogène et des essais en réacteur pilote :

	Essais pilote		Essais labo	
	Production de méthane	taux de méthane	Production de méthane	taux de méthane
	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t MO	en %	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t MO	en %
Fumier bovin frais	163	52 %	170	65%
Fumier bovin 1 mois	113	50 %	156	71%
Fumier volaille frais	-	-	257	60%
Fumier volaille 1 mois	-	-	108	55%
Mélange 50/50	135	51 %	238	61%
Mélange 75/25	20	31 %	240	58%

### Comparaison entre le test pilote avec les tests de potentiel méthanogène

Pour le fumier de bovin frais, on constate que la production de méthane obtenue dans les essais labo est presque atteinte en essai pilote, 95% du potentiel méthane est atteint en essai pilote au bout de 2 mois.

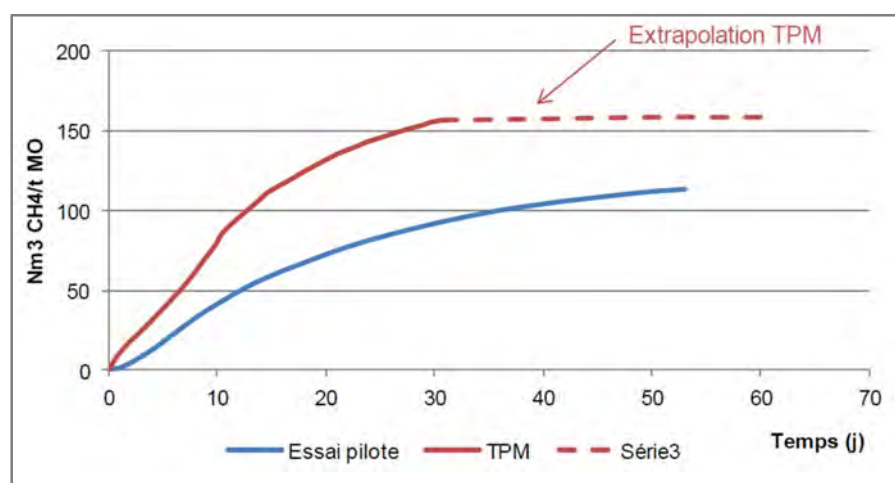
Comparaison entre le test labo (TPM) et l'essai pilote pour le fumier de bovin frais (ADEME; 2013)



Pour le fumier de bovin stocké 1 mois, on constate que la production de méthane obtenue en labo n'est pas atteinte en essai pilote, 77% du potentiel est atteint au bout de 2 mois. Comme pour le fumier frais, on constate que la cinétique de production du méthane est plus longue en essai pilote qu'en test labo.

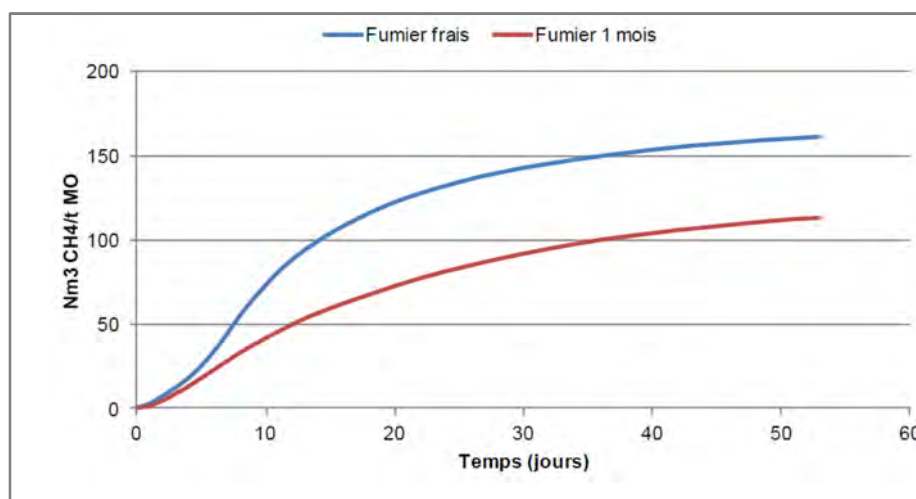
Ce décalage dans la durée de production peut s'expliquer par le fait que lors du stockage une partie de la matière organique facilement dégradable est perdue, la matière organique résiduelle est plus longue à dégrader (hémicellulose notamment).

Comparaison entre le test labo (TPM) et l'essai pilote pour le fumier bovin stocké  
ADEME; 2013



En essai pilote, on constate que la perte d'énergie due au stockage est plus importante. En effet, au bout de deux mois on observe une différence de 25% (contre 9% en labo). Cela s'explique par la cinétique de la réaction, la production étant plus importante les 20 premiers jours pour le fumier frais.

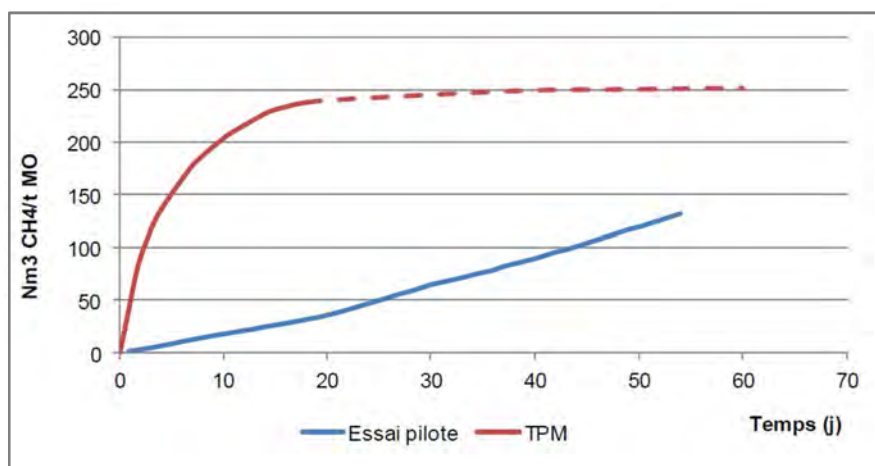
Comparaison entre la production de méthane du fumier bovin frais et du fumier bovin stocké en essai pilote en production cumulée  
ADEME; 2013



**Le pilote du mélange 50% fumier bovin et 50% fumier volaille** montre un dysfonctionnement du réacteur en discontinu. Le mélange ne permet pas un bon développement de la microflore de méthanisation en raison principalement d'une teneur en acides gras volatils (résidus de la fermentation) trop élevée. Ce dysfonctionnement n'est pas visible lors du test labo (du fait des conditions expérimentales mises en œuvre) d'où l'importance de vérifier le comportement d'un mélange en réacteur simulant les conditions de mise en œuvre opérationnelle.

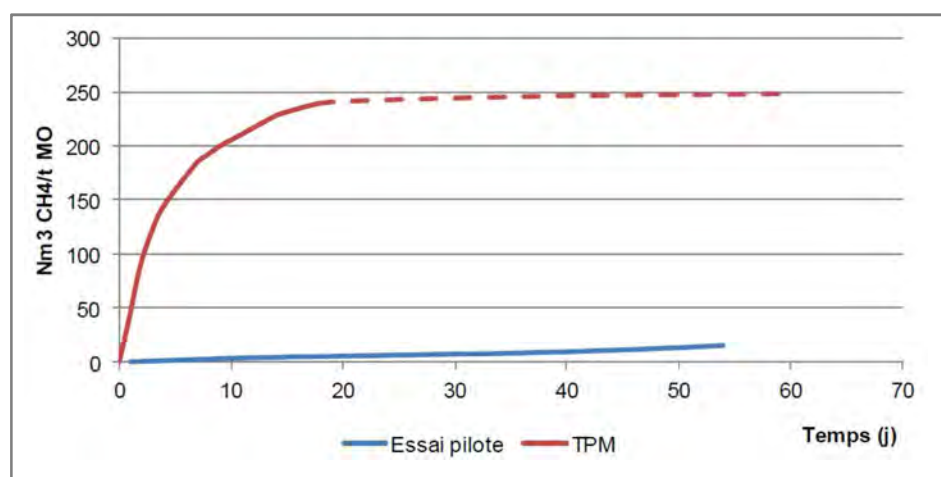
Au bout de deux mois, l'installation pilote atteint à peine 60% de la production maximale de méthane du test labo.

Comparaison entre le test labo et l'essai pilote pour le mélange 50 / 50 en production cumulée ADEME; 2013



Pour **l'essai pilote avec 75% de fumier de volaille**, ce mélange ne peut pas fonctionner avec un procédé de type réacteur voie sèche discontinu. Ce résultat est logique par rapport à l'essai précédent où on constate des difficultés de fonctionnement. L'augmentation de la part de fumier de volaille provoque des déséquilibres très importants du système avec une accumulation d'acides gras volatils et une teneur en ammoniacque beaucoup trop importante.

Comparaison entre le test labo et l'essai pilote pour le mélange 75 / 50 en production cumulée (ADEME; 2013)



Les points critiques concernant la ration sont les suivants :

- Une mauvaise évaluation du gisement disponible, ou une ration trop dépendante d'apports extérieurs ;
- Des analyses de caractérisation d'intrants insuffisantes ;
- Des business plans basés sur des hypothèses de production trop optimistes ;
- Des conditions de fonctionnement ne permettant pas d'atteindre des rendements moteurs réels aussi performants que les rendements théoriques

Les bonnes pratiques à adopter concernant la ration :

- Baser la conception des unités sur un gisement sécurisé ;
- Effectuer des analyses de caractérisation des intrants et/ou potentiels méthanogènes sur les intrants du projet ;
- Prendre des hypothèses sécurisantes dans les business plans, notamment au niveau de la productibilité.

#### 2.2.4 TEMPS DE SEJOUR

Le temps de séjour de la matière dans les digesteurs est choisi de manière à exprimer au mieux le potentiel méthanogène des intrants, et dépend donc de la cinétique de dégradation de ces derniers. Cette cinétique est différente selon la dégradabilité des matières : une matière facilement dégradable comme un broyat de céréales permettra une production rapide de biogaz, mais qui s'épuisera rapidement, alors qu'un fumier, moins dégradable, mettra plus de temps à produire.

Deux indicateurs permettent d'appréhender la cinétique de dégradation d'un intrant : la valeur  $t_{50\%}$ , qui est la durée nécessaire pour atteindre 50% de la production potentielle maximale de  $CH_4$ , et la valeur  $t_{90\%}$ , durée nécessaire pour atteindre 90% de la production potentielle maximale de  $CH_4$ . Plus ces temps sont courts, plus la matière se dégrade rapidement.

Le graphique ci-dessous présente la cinétique de dégradation d'un échantillon de poussières de céréales.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Ces analyses ont été réalisées par le laboratoire Wessling Lyon habilité COFRAC

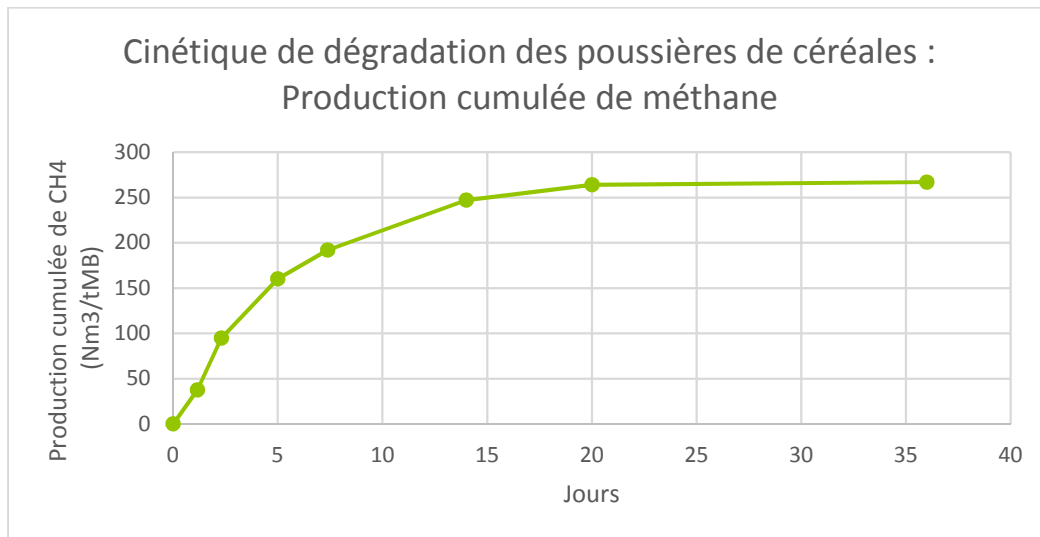


Figure 10 : Cinétique de dégradation de poussières de céréales – production cumulée de CH4

(source : Wessling, Biogaz ingénierie)

Le temps de dégradation  $t_{50\%}$  a été mesuré à 4,0 jours lors de cette analyse, et le  $t_{90\%}$  a été mesuré à 13,5 jours. La cinétique ainsi que ces indicateurs montrent que le méthane est principalement exprimé durant les premiers jours de la digestion. La production de méthane est également plus rapide en début qu'en fin de digestion, comme le montre le graphique ci-dessous, représentant le débit journalier de production de méthane :

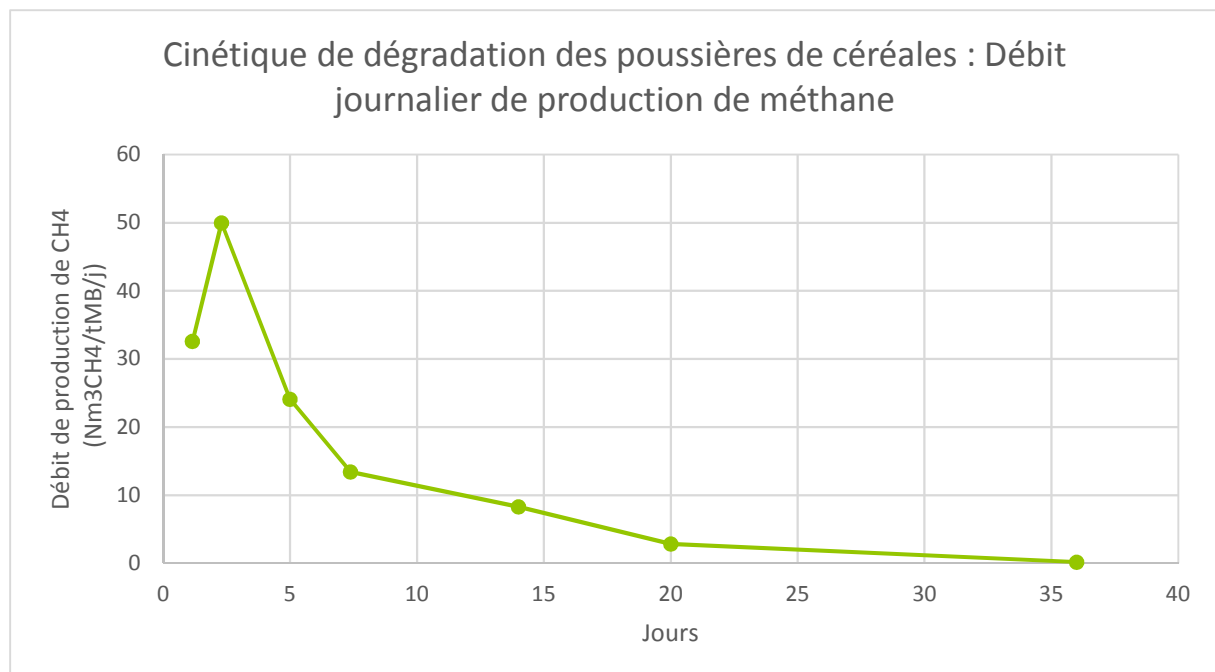


Figure 11: Cinétique de dégradation de poussières de céréales – débit de production de CH4

(source : Wessling, Biogaz ingénierie)

On observe une forte diminution du débit de production de gaz au fil de la digestion. Ces mêmes informations sont données pour un fumier bovin, matière moins méthanogène, mais surtout plus longue à dégrader. Il en résulte des temps de dégradation plus longs : 13,5 jours pour le  $t_{50\%}$  et 35,0 jours pour le  $t_{90\%}$ . Les courbes cinétiques sont présentées ci-dessous :

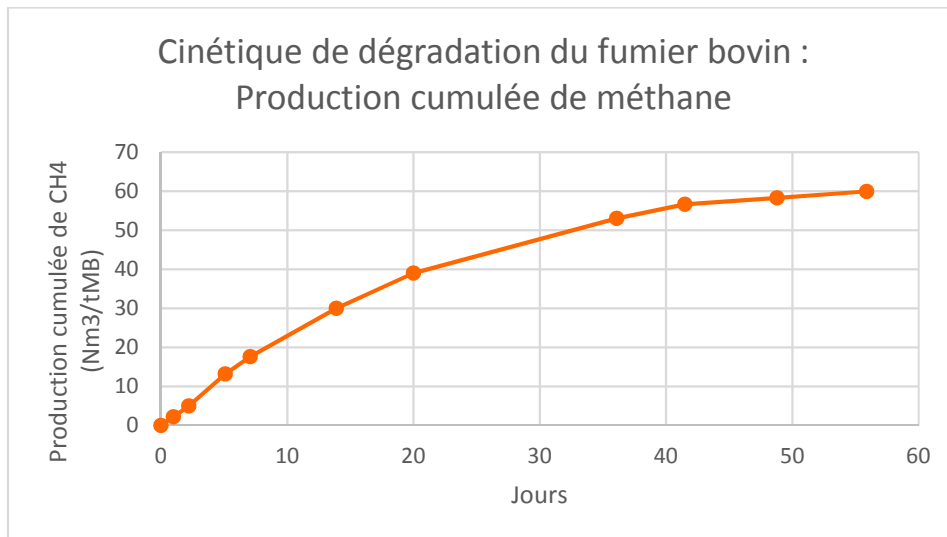


Figure 12 : Cinétique de dégradation de fumier bovin – production cumulée de CH4 (source : Wessling, Biogaz ingénierie)

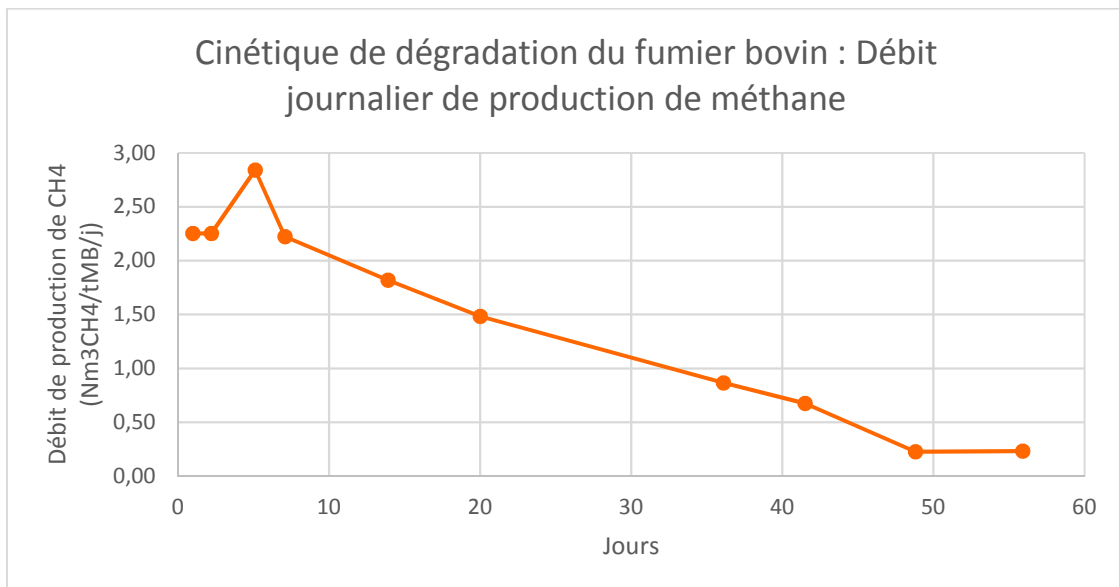


Figure 13 : Cinétique de dégradation de fumier bovin– débit de production de CH4 (source : Wessling, Biogaz ingénierie)

La diminution de la vitesse de dégradation du fumier est moins marquée que pour les poussières de céréales, mais est cependant bien existante.

Il est important de noter que la diminution du temps de séjour a des conséquences certaines sur les charges de main d'œuvre, et donc sur l'économie du projet. En effet, plus les chargements des digesteurs sont fréquents, plus la main d'œuvre nécessaire sera conséquente. Il convient donc de bien évaluer le temps de séjour, et le nombre de chargements par an associés lors de la constitution du business plan de l'unité, afin de ne pas pénaliser cette dernière par la suite.

Concernant le procédé garages, une restriction peut être faite propre à ce procédé. Le fait de diminuer le temps de séjour occasionne des pertes en méthane plus importantes sur la ration. En effet, au début et à la fin du cycle, une partie du méthane est perdue (gaz pauvre au début, ciel gazeux résiduel



à la fin). De ce fait, si les chargements sont plus fréquents (tous les 7j au lieu de tous les 10j), cela engendre une perte en méthane supérieure sur l'année. Cette restriction est due au fait que le concept en garages implique un ciel gazeux volumineux, qui est, au tout début de la digestion, rempli d'air. Cette considération est donc effectivement à prendre en compte pour ce procédé en particulier, mais ne s'applique pas au procédé silos par exemple.

#### Les bonnes pratiques à adopter concernant le temps de séjour

- Lors de la conception, bien évaluer le temps de dégradation de l'ensemble des matières, pour appréhender le moment où le débit de production de biogaz du digesteur va diminuer significativement.
- Les charges de main d'œuvre liées au chargement et déchargement des garages doivent bien être évaluées en fonction du temps de séjour, dans le business plan initial.

#### 2.2.5 INCORPORATION DE DIGESTAT SOLIDE

L'incorporation consiste à réintégrer une partie de digestat solide à la matière fraîche entrant dans un garage. L'incorporation permet tout d'abord, pour une même quantité de matière, de pouvoir diminuer le temps de séjour sans pour autant devoir augmenter le tonnage annuel de matière fraîche entrant sur l'unité à l'année. Le digestat incorporé permet également d'ensemencer plus rapidement le tas nouvellement mis en fermentation, et ainsi de stabiliser plus rapidement la biologie en apportant du pouvoir tampon au milieu ainsi que de microorganismes méthanogènes permettant de dégrader les acides provenant des matières fraîches entrantes.

Enfin, la matière ainsi réincorporée bénéficie d'un temps de séjour supplémentaire pour pouvoir continuer à exprimer son potentiel méthanogène.

Le taux de réincorporation, et les modalités de cette réincorporation sont à ajuster au cas par cas selon la ration. Pour des gisements composés en grande majorité de fumiers, la réincorporation pourra être plus limitée, le milieu sera déjà relativement stable et inoculé. Cela pourra néanmoins permettre un éventuel gain en cinétique de dégradation. Par contre, pour des gisements moins ensemencés et/ou très peu tamponnés, l'enjeu est majeur et cette opération est indispensable.

Par exemple, le fait de réincorporer une grande quantité de digestats, dont la matière sèche est faible (17-18%) et l'indice de vide faible également rend beaucoup plus compact le tas et réduit considérablement l'efficacité de la percolation. Sur certains sites, cela favorise la présence de nappes perchées ou bien la liquéfaction de l'ensemble du tas. Du fait de ces problèmes de percolation, le résultat final est alors à l'inverse de l'attendu, à savoir une diminution de la production.

Il convient donc de prêter une attention particulière à la consistance du tas lorsqu'on ajoute du digestat aux matières fraîches, et l'on peut par exemple tester une réincorporation augmentant

progressivement (10% sur un premier digesteur, puis 20%, etc.) afin de vérifier que le tas ne devienne pas hermétique au percolât.

Enfin, la réincorporation doit être raisonnée avec la préparation de la matière et l'aspersion de jus. C'est la combinaison de ces paramètres qui détermineront les conditions de digestion.

Les bonnes pratiques à adopter concernant la recirculation :

- Un taux de recirculation adapté permet d'apporter la quantité de matière fraîche nécessaire, tout en assurant un réensemencement correct.
- La recirculation permet à une partie du digestat de finir d'être digéré.
- Lors de la mise au point de l'unité, un test de réincorporation progressive sur plusieurs garages, en prêtant attention à la percolation.

## 2.2.6 PREPARATION DE LA MATIERE

Pour les matières facilement dégradables (issues de céréales, ensilages...), la dégradation doit effectivement débiter à l'intérieur des digesteurs. Cependant les matières plus difficilement dégradables comme le fumier nécessitent une première étape de dégradation aérobie, afin de pouvoir exprimer plus facilement leur potentiel méthanogène par la suite.

Cette étape aérobie permet à la flore bactérienne d'effectuer une hydrolyse de la matière, c'est-à-dire de pré découper les grandes chaînes carbonées difficilement dégradables. Ainsi, lorsque la matière rentre en digestion anaérobie dans les garages, elle est plus facilement dégradable par les bactéries anaérobies responsables de la production de méthane.

L'étape d'hydrolyse est exothermique, de sorte qu'elle permet de faire monter le tas en température, entraînant une activation rapide et efficace de la flore anaérobie.

De la même façon qu'en voie liquide, l'étape d'hydrolyse (ou de préparation de la matière) en voie sèche, permet de mieux exprimer le potentiel méthanogène des matières difficilement dégradables de type fumier, et de faire monter le tas en température.

De manière générale, il n'existe pas de temps de pré-compostage parfait et universel : un temps de pré-compostage trop court ne permettra pas à la matière de bien monter en température, et un temps trop long peut diminuer le potentiel méthanogène des matières. Le temps de préparation de la matière est donc à ajuster sur chaque site lors de la mise au point en fonction de différents paramètres :

**Le type de matière.** Le pré-compostage constitue une véritable étape d'hydrolyse, permettant de découper la matière difficilement dégradable, à chaîne carbonée longue. C'est le cas par exemple du fumier pailleux et de la paille. Pour ces matières-là, la préparation de matière permet une digestion anaérobie plus efficace par la suite. Au contraire, les matières très facilement digestibles, si elles sont mis en pré-compostage trop longtemps, perdent très vite de leur potentiel méthanogène de par ce processus. Il convient donc d'adapter le temps de compostage à chaque ration, et à chaque matière présente dans la ration.

**La température extérieure.** Un compostage plus long sera certainement nécessaire en hiver, car la cinétique de la réaction de compostage sera plus lente à basse température. Le tas aura donc plus de mal à monter en température.

**La structure du tas.** La réaction de pré-compostage étant une réaction aérobie, plus le tas sera aéré, et plus la réaction sera efficace. Le temps de préparation dépend donc de l'aération du tas.

Il est également possible d'ajouter du jus sur le tas lors de la phase de préparation et de montée en température. Cet ajout peut permettre de favoriser la réaction aérobie sur des tas trop secs.

Un autre point de vigilance est le bon mélange au reste du tas des matières facilement digestibles et très sèches, notamment lorsque celles-ci sont intégrées après la préparation du reste de la matière. En effet, en cas de fortes proportions de ces matières, cela peut générer la présence de paquets de matières très secs, et difficilement pénétrables par le percolât.

Il est possible de préparer la matière de différentes façons et avec différents matériels.

Le plus simple est un **mélange au godet**. Ce système prend le moins le temps et ne nécessite pas de matériel supplémentaire. Il peut convenir pour des rations simples (uniquement fumier pailleux par exemple) mais le mélange et la déstructuration de blocs homogènes et potentiellement hermétique ne sera pas optimale. Pour ce système, à minima, il faut s'assurer que le tas puisse monter en température pour atteindre 45-50°C minimum.

Pour avoir un meilleur mélange, les matières peuvent passer à la mélangeuse ou bien au retourneur d'andain. Ces systèmes vont prendre plus de temps de préparation mais peuvent être essentiels pour assurer un bon mélange entre différentes matières entrantes, afin de bien mélanger le digestat solide réincorporé, d'aérer le tas et assurer une bonne montée en température.

La stratégie de préparation de la matière est essentielle pour la conduite de l'installation mais résulte souvent d'un compromis entre le temps de travail, le matériel disponible et à acheter, le coût, les types de matières et la nécessité d'avoir le meilleur mélange entrant possible.

#### Les points critiques concernant la préparation de la matière :

- Une préparation trop courte ;
- Des tas pas assez aérés ;
- Des tas trop hauts.

#### Les bonnes pratiques à adopter concernant la préparation de la matière :

- Constituer un tas avec les matières les plus difficiles à digérer (fumier), au moins 7 jours avant l'intégration aux garages ;
- Ajouter les matières les plus digestibles juste avant d'intégrer le tas au garage ;
- Ne pas dépasser une hauteur de 2,5 à 3 mètres pour les tas. Cette hauteur est à moduler en fonction de la nature du mix, et notamment la façon dont celui-ci va se tasser dans le temps lors de la digestion ;
- Afin de contrôler la préparation de la matière en début d'exploitation, mesurer éventuellement la montée en température du tas à différents endroits, avec des sondes ;
- Possibilité de préparer 2 tas en même temps, afin d'optimiser le temps de main d'œuvre ;
- Adapter le protocole de préparation (temps, séquençage, matériel et technique utilisés) à chaque site.

### 2.2.7 ASPERSION

Sur ces aspects d'aspersion, il est aujourd'hui difficile de se positionner sur une fréquence et une quantité de percolât à asperger idéales. Ces points sont toujours à l'étude, à la fois par les concepteurs d'unités, mais aussi par les organismes de recherche.

Les paramètres d'aspersion choisis résultent aujourd'hui d'un réglage empirique propre à chaque concepteur et à chaque exploitation, qui doit être fait lors de la mise au point de l'unité. Pour les systèmes qui ne sont pas prévus pour fonctionner en immersion totale, ce réglage doit permettre de trouver un compromis entre l'ensemencement (qui permet de stimuler la production) ainsi que le mouillage correct du tas, et une aspersion trop conséquente qui risquerait de rendre hermétique le tas, de créer des nappes perchées et de fragiliser l'installation.

Il peut être intéressant d'appliquer des aspersions dynamiques, plus forte en début de cycle, plus faible en fin de cycle. Cela peut permettre de s'adapter au tassement et à la perte de perméabilité au cours du cycle.

Dans tous les cas, il est important que le jus aspergé soit chaud afin de ne pas refroidir le tas et perturber la réaction biologique. Il est donc fortement conseillé d'avoir un système permettant de garder le jus chaud avant réincorporation.

#### Les points critiques concernant l'aspersion :

- Difficulté à prédire une aspersion optimale qui dépend de la technique de méthanisation et des matières entrantes ;
- Nécessité de bien connaître et maîtriser les quantités de jus recirculé afin d'éviter une accumulation de jus et de fragiliser le génie civil de l'installation ;

#### Les bonnes pratiques à adopter concernant l'aspersion :

- Recirculer le jus chaud pour ne pas refroidir le tas en méthanisation
- Un bon mouillage des tas est indispensable pour favoriser une bonne production de biogaz

## 2.3 TYPE DE VALORISATION DU BIOGAZ

Le type de valorisation du biogaz est à choisir avant tout selon les possibilités techniques propres au site : possibilité de valoriser la chaleur, présence d'une canalisation pour l'injection à proximité par exemple. D'autre part, il est important de garder en tête les contraintes liées à chacune des options de valorisation :

- **Cogénération** : Il est recommandé de conserver un **débit de gaz** le plus **constant** possible, et d'utiliser le moteur à pleine charge, afin d'une part de ne pas le détériorer et d'autre part d'en tirer le meilleur rendement possible.
- **Injection** : Pour une épuration du biogaz la plus efficace possible, il est nécessaire d'obtenir une **qualité de gaz** la plus **constante** possible. Or, cela peut être difficile dans un contexte discontinu, dans lequel la qualité et la quantité du biogaz produit varient entre le début et la fin de la digestion (il peut alors être judicieux d'envisager la mise en place d'un gazomètre de mélange commun aux digesteurs pour limiter le phénomène de variations). Dans le contexte des digesteurs garages, la grande quantité de ciel gazeux présent au début de la digestion accentue le problème de la qualité du biogaz.
- **Valorisation en chaudière** : La contrainte principale de ce type de valorisation peut être la **discontinuité de l'utilisation du biogaz**. Selon le type de valorisation et le séquençage de l'utilisation de la chaudière, le stockage tampon de biogaz devra être surdimensionné, afin d'assumer les périodes sans utilisation de ce dernier.

## 3 CONCEVOIR UN PROJET EN VOIE SECHE DISCONTINUE

### 3.1 DECOUPAGE DE L'UNITE

#### 3.1.1 DIGESTEURS

Le cœur de l'unité de méthanisation est constitué des **enceintes de digestion**, prenant la forme de garages, de silos, ou de fosses. De façon générale, afin de bien appréhender le dimensionnement de l'unité et des garages, il est nécessaire de bien connaître les tonnages de matière entrants, et leur masse volumique. Les quantités sont souvent évaluées par les porteurs de projet en termes de volumes (godets, bennes), mais l'évaluation du tonnage associé peut ne pas être exacte. Des pesages peuvent être suggérés, afin de connaître ces valeurs avec certitude.

#### 3.1.2 STOCKAGES

Des **zones de stockages** pour la matière entrante (fumiers, ensilages, etc...) ainsi que pour les digestats sortants doivent être prévues sur le site, et être correctement dimensionnées, afin de faciliter l'exploitation du site. Les plateformes de stockage de matières entrantes doivent être **suffisamment vastes** pour répondre au plan d'approvisionnement des matières préalablement défini. Une attention particulière doit être portée sur les matières avec une forte saisonnalité, qui devront pouvoir être stockées de manière à lisser au mieux leur utilisation sur l'année. Afin de connaître le volume de matière à stocker, le concepteur doit prendre en compte la **masse volumique** de la matière en question. Le tableau ci-dessous donne un ordre d'idée de la masse volumique de certains substrats courants. Attention, ces valeurs peuvent varier sensiblement selon le tassement et la teneur en matière sèche de la matière.

Figure 14 : Exemples de masses volumiques d'intrants agricoles courants<sup>2</sup>

Intrant	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )
Effluents d'élevage	
Fumier bovin frais pailleux	500 à 600
Fumier bovin litière accumulée	700 à 800
Fumier équin - litière paille	Environ 200
Lisier bovin	1000
Autres intrants agricoles	
Ensilage d'herbe à 30%MS, tassement moyen	Entre 600 et 800
Ensilage de maïs épi complet à 50%MS, tassement moyen	Entre 700 et 900
Paille en vrac	Entre 40 et 50
Paille pressée Haute densité	Entre 140 et 170
Foin en vrac, tassé	Entre 90 et 120
Foin pressé Haute densité	Entre 200 et 290

<sup>2</sup> Sources : <http://www.occitanie.chambre-agriculture.fr>;

La **hauteur de chargement** de la matière sur les plateformes ne peut généralement pas dépasser **2,5 m à 3 m**, pour des questions de stabilité du tas.

Concernant les digestats, il est nécessaire de concevoir une plateforme suffisamment grande pour permettre de stocker les digestats entre les périodes d'épandages. Une capacité de stockage d'environ 6 mois est préconisée, sauf zones vulnérables, où les contraintes d'épandages peuvent induire un besoin de stockage plus long.

Il est également important de prévoir la récupération des jus sur ces plateformes de stockage, en mettant en place de légères pentes, des caniveaux, des puisards, etc.

### 3.1.3 ZONE DE PREPARATION DE LA MATIERE

La plupart des concepteurs/constructeurs d'unités en voie sèche discontinue s'accordent aujourd'hui pour dire que la préparation de la matière sous forme de prédigestion aérobie, est une étape importante, à intégrer dans la gestion de l'unité. Cette étape du processus implique l'installation d'une **zone de préparation de la matière** bétonnée, assez vaste pour pouvoir manutentionner les matières, et les laisser fermenter pendant plusieurs jours sans que cela ne gêne le fonctionnement de l'unité, notamment au niveau du passage des engins.

Le dimensionnement de cette zone de préparation doit donc dépendre de la **quantité de matière** à préparer, de la **masse volumique** moyenne du tas, et de la **hauteur de préparation** souhaitée. Si la constitution de **plusieurs andains** est nécessaire, la plateforme devra être dimensionnée de sorte à permettre la préparation correcte de ces andains. Enfin, il faut également prendre en compte la nécessité d'une **zone de retournement** pour les engins.

### 3.1.4 ZONE DE PROPRETE

L'obtention de l'agrément sanitaire pour l'unité de méthanisation dépend de la bonne gestion du site en termes d'hygiène. Cet aspect se réfléchit dès la conception du site, et notamment par l'implantation d'une **zone de lavage** des engins, c'est-à-dire une plateforme bétonnée avec un **système de nettoyage haute pression**, et un système de récupération des jus, ainsi qu'un affichage « zone de lavage ».

## 3.2 PERSPECTIVES D'EVOLUTION DU SITE

Si la disponibilité en matières, la philosophie du maître d'ouvrage, et les différents éléments rentrant en ligne de compte permettent d'envisager, au stade conception, une éventuelle extension d'unité future, ces perspectives doivent être prises en compte dès la phase de conception initiale.

Selon les possibilités liées au budget du projet, on pourra envisager de surdimensionner légèrement les stockages de matières entrantes, aspect souvent problématique pour les exploitants, des apporteurs de matière se manifestant parfois après la mise en service de l'unité.

Dans une optique d'évolution de site, le concepteur pourra également faire attention à laisser un espace libre sur site pour la construction d'éventuels nouveaux digesteurs, et la mise en place d'un nouveau container de cogénération le cas échéant.



### 3.3 PROBLEMATIQUES REGLEMENTAIRES

Le projet d'installation de méthanisation doit répondre à différents aspects de la réglementation, afin de pouvoir obtenir, entre autres :

- Le permis de construire
- L'autorisation, l'enregistrement, ou la déclaration au titre des Installations Classées Pour l'Environnement (ICPE)
- L'agrément sanitaire

Ces obligations réglementaires demandent une vigilance particulière au regard de l'implantation géographique, de la conception spatiale du site, et du fonctionnement logistique.

#### 3.3.1 URBANISME

Lors de la réflexion sur l'implantation d'un projet de méthanisation sur une commune, il convient de consulter le Plan Local d'Urbanisme de celle-ci, document de planification principal de l'urbanisme sur une commune, afin de vérifier que la zone prévue pour le projet est bien compatible avec le règlement.

Le zonage du PLU est traduit sous forme de carte, et les activités envisageables dans chaque zone sont détaillées dans le règlement. Il appartient donc au porteur de projet de vérifier dans quelle zone se situe le projet, et si celui-ci est compatible avec le règlement de cette zone. Le zonage A (zone agricole), tolère l'installation d'une unité de méthanisation, la méthanisation étant considérée comme une activité agricole (A bien valider selon le montage retenu cependant). Il conviendra également de vérifier qu'aucune habitation ne se situe à moins de 50m de la zone d'implantation envisagée.

#### 3.3.2 ZONES NATURELLES/COURS D'EAU

Lors du choix du positionnement géographique d'un projet, il est important d'avoir une vision des différentes zones naturelles protégées qui peuvent se situer aux alentours du projet, ainsi que des cours d'eau à proximité. La situation en zone Natura 2000 demande par exemple une évaluation spéciale des incidences dans le cadre de la réglementation ICPE. Les autres zones naturelles de type ZNIEFF, réserves biologiques ou de biosphère, les zones sous arrêté de protection biotope, sont également à considérer lors de la réflexion sur l'emplacement du projet : celles-ci ne sont pas forcément rédhibitoires pour la réalisation du projet, mais il convient de bien s'informer sur les tenants et aboutissants réglementaires de ces différentes zones, afin d'identifier les contraintes qu'elles peuvent représenter pour le projet.

Si un cours d'eau est présent à proximité du site, il convient de vérifier qu'il est possible d'implanter le projet à plus de 35m du cours d'eau en question, distance minimale réglementaire.

#### 3.3.3 AGREMENT SANITAIRE

Les unités de méthanisation qui mettent en jeu des sous-produits animaux sont soumises à l'obtention d'un agrément sanitaire. Le dossier de demande d'agrément sanitaire doit permettre de mettre en place des bonnes pratiques d'exploitation visant notamment à limiter le risque infectieux.

Pour obtenir cet agrément, les exploitants devront faire en sorte de limiter le contact entre la matière entrante non digérée (fumier, lisier), et la matière sortante, qui a subi un abattement des germes pathogènes durant la digestion. Des cheminements de matières adaptés devront ainsi être mis en place, et ceux-ci doivent être réfléchis dès la conception de l'unité.

Une zone de lavage d'engins, servant notamment quand les engins passent de l'exploitation agricole à l'unité de méthanisation peut également être demandée par les autorités.

Lors de lavages d'engins, de plateforme, ou encore d'épisodes de pluie, les jus de plateformes produits peuvent contenir des pathogènes (essentiellement lorsqu'ils ont été en contact avec des effluents d'élevage). Il convient donc de prévoir des systèmes de récupération des jus (plateformes en légère pente, puisards...), afin de ne pas laisser ces jus s'écouler vers le milieu naturel.

La photographie ci-dessous montre une plateforme de stockage non équipée pour la récupération des jus, comportant des flaques de jus de plateforme.



Figure 15 : Plateforme de stockage sans récupération des jus (source : Biogaz ingénierie)

### 3.4 PRINCIPES CONSTRUCTIFS – POINTS DE VIGILANCE

#### 3.4.1 GENIE CIVIL

Ce paragraphe reprend certains grands principes constructifs concernant la mise en œuvre du génie civil de process. Ces prescriptions sont basées sur l'Eurocode 2 partie 3 (anciennement fascicule

74), reprenant ces grands principes. Ces prescriptions sont destinées initialement aux marchés publics de travaux, mais constituent une référence pour l'ensemble des constructions de ce type, y compris dans le domaine privé.

### OUVRAGES CONCERNES

Les ouvrages concernés par ce fascicule sont les réservoirs béton contenant de l'eau ou un autre liquide. Des prescriptions spécifiques sont d'ailleurs prévues pour les ouvrages contenant du lisier. Les enceintes de digestion des unités de méthanisation contiennent toujours une certaine quantité de liquide, que l'on se place en voie humide, ou bien en voie sèche (avec les percolâts, et la possibilité que ceux-ci restent enfermés dans le tas de matières), et se trouvent donc dans le cadre d'application de ce fascicule.

### ETUDE GEOTECHNIQUE

Une étude géotechnique est fortement préconisée, dont les résultats devront être communiqués lors de la consultation des entreprises de génie civil, afin de permettre à celles-ci d'adapter leurs propositions techniques. Cette étude, selon le type de problèmes géotechnique qu'elle permettra de soulever, pourra faire l'objet de plusieurs étapes :

- Une simple enquête de sol s'il n'y a que peu ou pas de problèmes géotechniques ;
- Une étude géotechnique si l'étude préalable identifie des risques d'importance moyenne liés aux mécanismes du comportement du sol, ce qui est le cas le plus fréquemment. Il y a alors lieu de proposer des dispositions constructives permettant de supprimer ou de diminuer les risques ;
- Une reconnaissance géotechnique complémentaire et l'étude détaillée des problèmes spécifiques de mécanique des sols, lorsque des risques exceptionnels ont été décelés (glissements de terrain, effondrements, etc.). Il convient alors non seulement de proposer des dispositions permettant de réduire ces risques, mais également de mettre en place une batterie de capteurs permettant de suivre le comportement de l'ouvrage dans le temps.

Si des venues d'eau sont susceptibles d'être présentes sur le terrain, par exemple si la nappe est affleurante, il est impératif d'axer une partie de l'étude géotechnique dessus, surtout s'il existe des ouvrages enterrés en tout ou partie. Il sera alors nécessaire de prévoir des drainages et d'installer des piézomètres afin de surveiller les mouvements de la nappe d'eau.

### QUALITE ET PROTECTION DES MATERIAUX

Les matières ainsi que les gaz contenus dans les digesteurs sont de nature à **agresser fortement le béton**. Ainsi, la qualité des matériaux et les moyens mis en place pour la protection du béton sont des éléments à bien prendre en compte et réfléchir en amont.



Figure 16 : Illustration de l'agression du béton due au soufre sur un digesteur (source : Biogaz ingénierie)

Les bétons employés sur les sites de méthanisation sont de catégorie **XA2 ou XA3**, en granulométrie **C35/45**.

Afin de limiter les agressions au niveau du ciel gazeux, une **protection** sous forme de **liner** positionné ou non en peau de coffrage sur le ciel gazeux et jusqu'à la hauteur du tas peut être envisagé. De la même façon, cette protection peut également se faire sous forme de **résine** apposée sur les murs. Cette seconde solution peut présenter un problème de longévité dans le cas de la voie sèche discontinue, à cause des éventuels accros et écaillages que peut subir la résine en cas de coup de godet. Ces mesures apportent également une étanchéité supplémentaire à l'enceinte.

Cependant on peut noter que dans le cadre de la mission d'audits de sites, aucun problème manifeste d'agression chimique du béton n'a été décelé.

#### **ACTIONS A PRENDRE EN COMPTE**

Les forces appliquées au génie civil à prendre en compte dans la conception sont détaillées dans le fascicule 74. Elles sont décomposées en forces permanentes et forces variables.

Les forces permanentes à prendre en compte sont les suivantes :

- Le poids de la construction (structure béton) ;
- Le poids des équipements (comme les gazomètres, soupapes, etc) ;
- Le retrait ;
- La poussée des terres ;
- La poussée de l'eau extérieure.

Les forces variables à prendre en compte sont les suivantes :

- Le poids et la pression du liquide contenu (ici du percolât pouvant s'accumuler dans l'enceinte de digestion) ;
- Les charges de neige et de vent ;

- Les charges dues à l'exploitation et à l'entretien de l'ouvrage.

### TEMPERATURE

Les bétons sont soumis à de **forts gradients de température** dans le cas de la méthanisation en voie sèche discontinue. Durant les mois d'hiver, les températures extérieures peuvent être négatives, alors que l'intérieur des digesteurs est à une température élevée, entre 25°C et 45°C.

Alors que les murs extérieurs sont parfois isolés et bardés, ce n'est pas toujours le cas des murs intérieurs, qui subissent d'autant plus ce gradient de température lorsqu'une enceinte est vidée alors qu'une autre est en pleine digestion.

Il est important pour les concepteurs d'unités en voie sèche de bien évaluer ces gradients, de prendre des **marges de sécurité**, et de les prendre en compte dans leurs **hypothèses de calcul** des structures béton.

### MISE EN ŒUVRE DU BETON

Le paragraphe V.8.1. du fascicule 74 prévoit une liste de dispositions concernant la mise en œuvre du béton. Il préconise notamment que la hauteur de déversement du béton ne dépasse pas 1,5 m. Les modalités des arrêts et reprises de bétonnage sont également détaillées :

- Les arrêts de béton doivent être prévus à l'avance ;
- Les sections d'arrêt doivent comporter des armatures en attente ;
- Il est recommandé d'utiliser un retardateur de prise, pour éviter les ruptures de continuité ;
- Il est demandé de nettoyer à l'air comprimé les surfaces d'arrêt avant la reprise, et de les piquer, nettoyer, et humidifier dans le cas d'un béton durci ;
- Il est demandé d'enrichir le béton en liant et éléments fins à chaque nouveau bétonnage.

---

### 3.4.2 ISOLATION DES DIGESTEURS

L'isolation permet de **gagner en efficacité thermique** sur le procédé, et aide à conserver les enceintes à une température fonctionnelle de digestion. C'est également un surcoût à l'investissement, il convient donc d'établir un **compromis** entre le **surcoût à l'investissement**, et le **surcoût de chauffage** en phase d'exploitation.

L'isolation du procédé peut se faire au niveau des digesteurs et/ou des cuves à percolâts. Au niveau des digesteurs, l'isolation peut être mise en œuvre au niveau des murs extérieurs et/ou intérieurs et/ou du radier. Cette dernière option permet de limiter le gradient de température qu'il peut y avoir sur un mur lors du déchargement d'une enceinte, alors que l'enceinte voisine est en digestion. Certains procédés notamment en silos permettent d'ajouter un isolant sous le gazomètre, qu'il faudra retirer à chaque chargement.

Tout un panel d'isolants thermiques peut être utilisé, en fonction de l'intérêt technique, économique, et des caractéristiques propres à chaque type d'isolant : mousses polyuréthane, différentes laines isolantes, Styrodur®... A titre d'exemple, le Styrodur peut facilement être employé au niveau des radiers, sur 6 à 10 cm d'épaisseur, car il ne s'écrase pas.



Figure 17 : Plaques de Styrodur® placées sous le radier d'une cuve de digestion (voie liquide) (source : Biogaz ingénierie)

Au niveau des murs, les isolants peuvent être positionnés en peau de coffrage lors du coulage du béton, ou bien être positionnés après le coulage, entre le bardage et le béton. Cette seconde solution augmente cependant les risques de ponts thermiques, entre l'isolant et le béton.

Pour les systèmes de fosses ou les silos bâchés, il est également possible d'ajouter un isolant sur la matière avant de replacer le gazomètre, comme illustré sur la photographie ci-dessous :



Figure 18: Isolation d'un digesteur en silo bâché sous le gazomètre (source : Biogaz ingénierie)

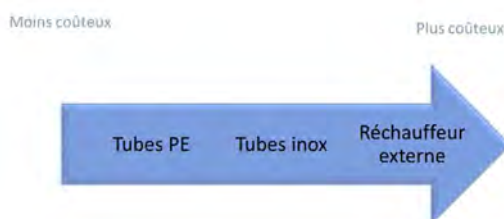
Il convient donc d'adapter le choix de l'isolant en fonction des diverses contraintes techniques, et de penser à la sensibilité des matériaux aux facteurs extérieurs (écrasement, rongeurs, etc.), mais aussi des contraintes de procédés (un isolant sur un tas doit permettre le passage des percolâts et leur diffusion sur l'ensemble de la surface).

### 3.4.3 CHAUFFAGE

Le chauffage, complémentaire à l'isolation sur les organes de digestion, permet de maintenir les digesteurs à la température souhaitée, pour conserver l'activité microbienne, et accélérer le processus de dégradation de la matière. De même que pour l'isolation, il existe plusieurs solutions



pour le chauffage du process. Celui-ci peut être chauffé via les cuves à percolâts, et/ou via les enceintes de digestion. On recense trois grands types de systèmes de chauffage, listés dans le diagramme ci-dessous :



Les **tubes en polyéthylènes** peuvent être :

- **Intégrés au béton**, auquel cas la capacité d'évolution du chauffage est limitée, et il faut éventuellement penser à surdimensionner le système de chauffage si l'on envisage des évolutions sur la station. Il faut également être très vigilant lors de futurs percages du béton. Cette solution peut être adoptée au niveau des murs ou des radiers.  
Si le chauffage est intégré au radier et dans le cas d'une cuve à percolât, en cas de sédimentation dans la cuve, le transfert thermique sera dégradé. Il convient donc soit de surveiller attentivement le phénomène de sédimentation, soit d'associer ce système de chauffage avec un autre système complémentaire.
- **Accrochés au mur** de l'enceinte, auquel cas la sensibilité à la détérioration par accrochage est accrue : il ne convient pas de placer ce type de chauffage dans un digesteur qui va être régulièrement rempli et vidé. Dans les cuves à percolât, si celles-ci sont agitées, il y a un risque que les tubes, s'ils se décrochent en partie du mur, se prennent dans les pales de l'agitateur.

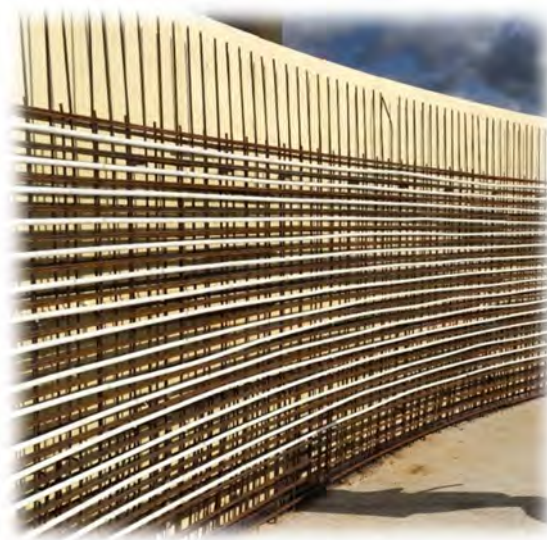


Figure 19 : Tubes PE avant intégration au béton (source : Biogaz ingénierie)

Le **serpentin inox** placé dans l'enceinte est une autre alternative. Il convient cependant de piloter attentivement la température du dispositif, pour éviter la « cuisson » de la matière autour du serpentin si celui-ci est trop chaud. En effet, une croûte peut se former, limitant par la suite le transfert thermique (voir photo ci-dessous).



Figure 20 : Système de chauffage serpentin INOX (source : Biogaz ingénierie)

Le **réchauffeur externe** est un système plus onéreux et plus gourmand en énergie, mais également plus modulable. Il peut être ajouté après une extension d'unité.



Figure 21 : Réchauffeur externe (source : Biogaz ingénierie)

Quel que soit le système de chauffage, il peut être judicieux de séparer le circuit de chauffage en deux boucles : une boucle pour la chaudière/cogénération, et une boucle pour le système de chauffage, reliés par un échangeur à plaques. Cette pratique limite le risque de pollution par les jus de process de l'ensemble du système de chauffage en cas de fuites ou de système perméable.

---

#### 3.4.4 GESTION DU GAZ

##### GAZOMETRES



Les stockages de gaz peuvent être positionnés sur chaque enceinte de digestion, et/ou sur la ou les cuves à percolât.

Dans le cas d'un gazomètre positionné sur la cuve à percolâts, celui-ci sert de stockage tampon et également de réservoir de mélange avant l'envoi du biogaz au moteur de cogénération. Les biogaz issus de tous les digesteurs sont envoyés dans ce stockage tampon, permettant une meilleure homogénéité du gaz, et une qualité plus constante.

Dans tous les cas, il est nécessaire de posséder un gazomètre sur l'unité, afin d'avoir une certaine souplesse dans l'utilisation du gaz, et de pouvoir notamment gérer des arrêts moteurs ou arrêts pour maintenance, sans perdre de gaz.

### CONDUITES DE BIOGAZ

Il est important de sélectionner des matériaux de qualité pour éviter les risques de fuites au niveau des conduites de gaz. Les matériaux seront notamment choisis pour leur insensibilité aux UV.

Les conduites enterrées pourront être en PEHD gaz, et les conduites aériennes en INOX 304L minimum (voire 316 L).

---

## 3.4.5 METROLOGIE

### MESURE DE NIVEAU BIOGAZ

Il existe deux grands types de systèmes servant à mesurer le stock de biogaz contenu dans le gazomètre : la mesure par **cordes tendues**, et la mesure par **différentiel de pression**.

Le premier système fonctionne grâce à des cordes fixées au gazomètre, qui se tendent lorsque celui-ci se gonfle, et se détendent lorsqu'il se dégonfle. Le système est calibré de telle manière que la mesure de niveau est à 0% lorsque la bâche est posée sur son support, et à 100% lorsqu'elle est gonflée au maximum. Un des désavantages de cette technologie est que, comme une certaine pression de gaz est nécessaire pour commencer à soulever la bâche, le niveau indiqué peut être de 0%, alors que le gaz commence déjà à s'accumuler.

Le système de mesure par différentiel de pression est bien adapté pour les gazomètres placés sur les cuves à percolâts. Sur une enfilade d'enceintes de digestion, ce système peut être faussé sur un digesteur par la dépression ou la surpression générée par le digesteur d'à côté.

### MESURE DE NIVEAUX LIQUIDES

Deux types de capteurs peuvent être mis en place pour mesurer le niveau dans les enceintes contenant du liquide : les **capteurs analogiques** qui vont donner le niveau de remplissage, et les **capteurs Tout Ou Rien (TOR)**, qui vont enclancher une alarme en cas de niveau haut ou de niveau bas dans la cuve.

Ces capteurs peuvent être installés dans les cuves à percolât ainsi que dans les puisards de récupération des jus des digesteurs (notamment les capteurs TOR, permettant de détecter lorsque le niveau de liquide est trop haut dans les digesteurs).

Les capteurs analogiques fonctionnant en différentiel de pression et situés dans les puisards des digesteurs doivent être reliés au ciel gazeux du digesteur, afin que leur mesure ne soit pas faussée.

Les capteurs TOR peuvent être de deux sortes :

- Les capteurs type « **poire de niveau** » comportent des flotteurs, permettant de changer l'état du capteur selon s'ils sont immergés ou pas. Dans le cas d'un capteur de niveau haut, la poire se remet dans sa position normale une fois que le niveau baisse à nouveau.



Figure 22 : Photographies de capteurs TOR type "poires de niveau" (source : Biogaz ingénierie)

- Les capteurs de type « **diélectrique** » comportent deux pattes, et indiquent lorsque les deux pattes sont immergées. Dans le cas d'un capteur de niveau haut, lorsque le niveau monte, les pattes peuvent rester encrassées, et le capteur indique alors constamment un niveau haut, alors même que ce dernier a pu redescendre. A chaque montée de niveau, il faut donc nettoyer le capteur afin qu'il revienne en position initiale. En pratique, ce n'est pas toujours fait, et le capteur perd donc son utilité.

### GESTION DE LA PERCOLATION

Les tas en digestion sont arrosés de façon séquentielle par le percolât. Comme mentionné précédemment, les quantités, les durées et les fréquences d'aspersion optimales ne sont aujourd'hui pas définies, et il convient à chaque constructeur de chercher un optimum pour son process.

Selon la nature des matières (plus ou moins sèches, plus ou moins drainantes, plus ou moins absorbantes), et leur évolution durant la digestion, le percolât peut être absorbé, totalement drainé, ou encore être retenu dans le tas sans être absorbé, mais sous forme de nappes perchées.

L'image ci-dessous montre du percolât resté emprisonné dans le tas en digestion et sortant des garages par le biais des portes.



Figure 233 : Nappe perchée de percolât sortant de garages (source : Biogaz ingénierie)

Afin d'appréhender le comportement des percolâts, il est indispensable de pouvoir mesurer la quantité aspergée ainsi que la quantité relevée. **Le relevage et l'aspersion peuvent se faire grâce à une pompe volumétrique, et doit être accompagnée d'un débitmètre.**

Il est également conseillé de protéger la pompe du fonctionnement à sec, en utilisant un capteur de flux et/ou des capteurs de pression en amont et en aval de la pompe, permettant de détecter une surpression, due par exemple à un bouchon.

#### MESURE DE LA QUALITE DU BIOGAZ

Afin de mesurer la qualité du biogaz, il est nécessaire d'installer un analyseur biogaz sur l'installation.

Cet analyseur permet de contrôler la teneur en méthane du biogaz, mais également de détecter des problèmes techniques ou biologiques, par exemple si une concentration anormalement élevée en O<sub>2</sub> ou en H<sub>2</sub>S est relevée.

---

#### 3.4.6 SOUPAPES DE SECURITE GAZOMETRES ET ENCEINTES

Les soupapes sont des éléments de sécurité essentiels d'un site de production de biogaz. Chaque gazomètre doit posséder sa propre soupape. L'idéal est que les soupapes soient adaptées et prévues par le fabricant des gazomètres.

### 3.4.7 SYSTEME DE FIXATION DU GAZOMETRE

Il existe plusieurs systèmes de fixation du gazomètre sur l'enceinte béton. La fixation peut se faire par un boudin gonflé, dans un rail prévu à cet effet, au-dessus du mur ou bien de manière latérale, comme le montrent les images ci-dessous :

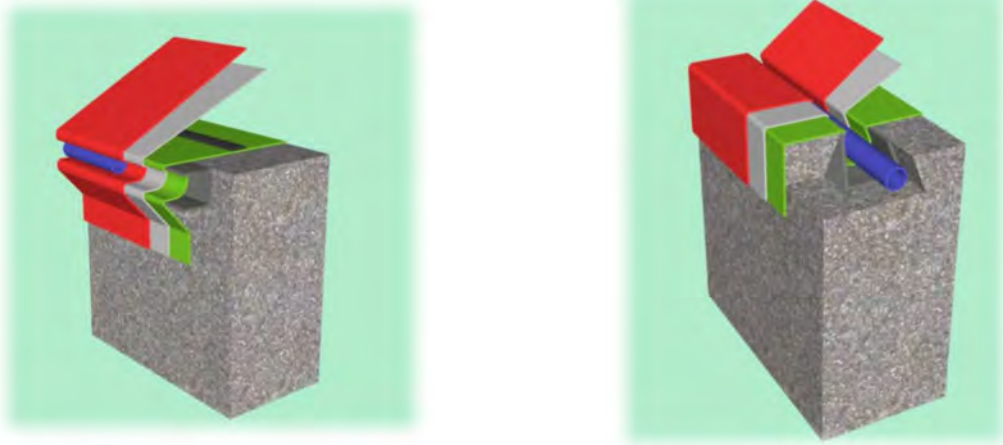


Figure 24 : Fixation du gazomètre par boudin gonflable (source : Biogaz ingénierie)



Figure 25 : Photographie d'un rail de fixation pour boudin gonflable (source : Biogaz ingénierie)

Cette solution est la seule disponible dans le cas des silos bâchés.

Dans le cas où les gazomètres ne sont pas manipulés, et restent fixés au mur, ceux-ci peuvent être emprisonnés entre deux platines inox, spittées au mur, comme le montre l'image ci-dessous :

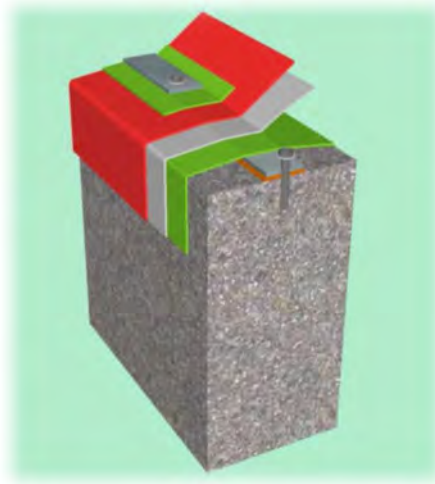


Figure 26 : Fixation du gazomètre entre deux platines spittées (source : Biogaz ingénierie)

#### 3.4.8 PROTECTION FACE AU GEL

Les vannes, tuyaux et capteurs placés en extérieurs peuvent être exposés au gel. Il est nécessaire de les protéger afin de garantir le bon fonctionnement de l'unité en période hivernale. L'ensemble des équipements peut être placé dans une enceinte fermée, ou bien protégé par un dispositif chauffant.



Figure 27: Photographie d'une vanne prise dans le gel (source : Biogaz ingénierie)

### 3.4.9 POINTS SPECIFIQUES AUX PROCÉDES EN GARAGES

#### ÉTANCHEITÉ DES PORTES

Une des spécificités du procédé de méthanisation en garages est l'utilisation de portes pour fermer les enceintes de digestion. C'est l'une des grandes forces de ce procédé ; en effet, ce système représente un grand gain de temps pour les exploitants qui n'ont pas à manipuler une bâche (opération fastidieuse), mais simplement à ouvrir et fermer des portes. Cependant, les portes sont un organe sensible du procédé, car il existe des risques de fuites (gaz et matières) notamment au niveau de la jonction entre le garage et la porte. Une attention particulière doit donc être portée à ce niveau, d'une part au regard du manque à gagner que pourraient représenter les fuites de gaz, mais aussi des zones ATEX dangereuses qui peuvent alors être créées autour de ces portes.

Plusieurs systèmes de joints existent :

- Soit le joint vient appuyer latéralement sur le dormant de la porte, en exerçant une poussée vers l'extérieur :

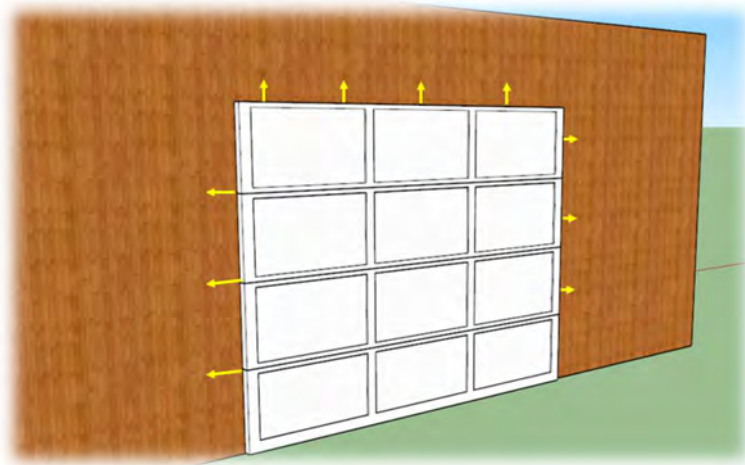


Figure 28 : Système d'étanchéité des portes de garages (source : Biogaz ingénierie)

- Soit le joint vient exercer une pression en direction du mur :

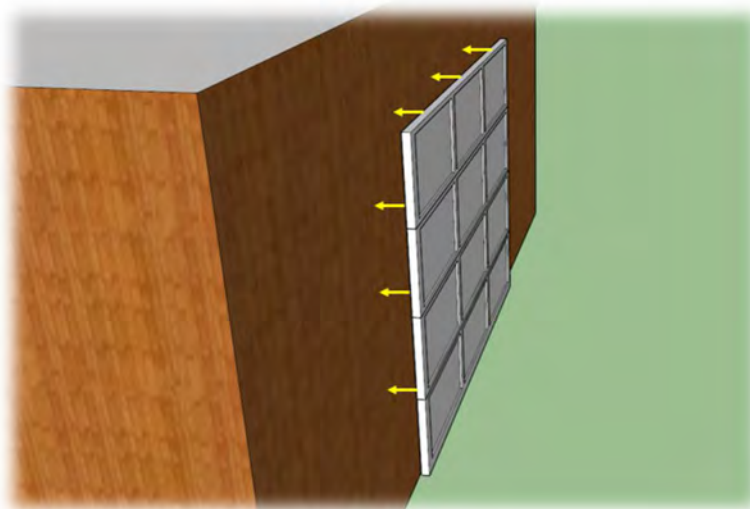


Figure 29 : Système d'étanchéité des portes de garages (source : Biogaz ingénierie)



### RESISTANCE DES PORTES

La résistance des portes, ainsi que des éventuelles pré-portes disposées dans les garages, à la poussée des percolâts, est également un élément crucial dans la réflexion de conception. Une mauvaise résistance de ces éléments peut entraîner des dégâts matériels et des risques humains. Une déformation des portes peut également induire la création de fuites.

Les photographies suivantes présentent une pré-porte endommagée suite à la poussée de percolâts liquides au sein d'un digesteur garage :



Figure 30 : Photo d'une pré-porte de garage ayant cédé sous le poids du percolât (source : Biogaz ingénierie)

## 4 CONSTRUIRE UN PROJET EN VOIE SECHE DISCONTINUE

### 4.1 REGLEMENTATION

Le démarrage de la construction d'une unité de méthanisation implique le passage par plusieurs étapes réglementaires obligatoires.

#### 4.1.1 L'OBTENTION D'UN PERMIS DE CONSTRUIRE

La construction d'une unité de méthanisation nécessite l'obtention d'un permis de construire.

Le Maître d'Ouvrage doit remplir le cerfa n°13409, formulaire de demande de permis de construire, et préparer un dossier de présentation du projet, comportant les pièces jointes suivantes :

- Plan de situation ;
- Plan de masse ;
- Plan en coupe ;
- Notice décrivant le terrain ;
- Plan de façade et des toitures ;
- Insertion paysagère ;
- Photographie permettant de situer le terrain dans un environnement proche ;
- Photographie permettant de situer le terrain dans le paysage lointain.

#### DELAI

Le délai habituel d'instruction d'un dossier de demande de permis de construire est de 3 mois, sauf dans le cas d'une unité de méthanisation soumise à autorisation, où l'instruction dure 10 mois.

#### AFFICHAGE SUR LE CHANTIER

Le panneau d'affichage du permis de construire doit être affiché sur le chantier de manière visible pendant 2 mois. Un constat d'huissier est recommandé en début et fin du délai de purge d'affichage/recours.

#### 4.1.2 L'AUTORISATION D'EXPLOITER AU TITRE DES ICPE

Les installations de méthanisation sont soumises à la réglementation des Installations Classées Pour l'Environnement (ICPE), notamment au titre de la rubrique 2781. Selon le contexte d'exploitation de l'unité (types de matières et tonnages intrants), la demande d'exploiter au titre des ICPE va se présenter sous la forme d'une déclaration, d'un enregistrement ou bien d'une autorisation.

Les dossiers à remplir et les délais d'instruction sont plus ou moins lourds, selon le régime de l'installation, la déclaration étant le régime le moins encadré, et l'autorisation, le plus encadré.



## DECLARATION

Le porteur de projet peut remplir le cerfa n°15271, ou bien faire sa déclaration directement sur internet, sur le site [www.service-public.fr](http://www.service-public.fr).

- Les différents plans de masse et de situation demandés ;
- Une évaluation des incidences Natura 2000 le cas échéant.

La preuve de dépôt est alors délivrée sans délai au porteur de projet, sauf dans le cas où une évaluation des incidences Natura 2000 est nécessaire.

## ENREGISTREMENT

Le cerfa n°15679 est à remplir par le porteur de projet. Les pièces à joindre au dossier sont détaillées dans ce cerfa. Le dossier doit, entre autres, comporter :

- Les différents plans de masse et de situation demandés ;
- Un document justifiant la compatibilité de l'activité de méthanisation avec le PLU ou le POS ;
- L'avis du maire sur l'état dans lequel devra être remis le site lors de l'arrêt définitif de l'unité ;
- Une évaluation des incidences Natura 2000 le cas échéant.

La durée d'instruction d'un dossier en enregistrement est d'environ **5 mois**, comprenant notamment une **consultation du public** sur internet durant 4 semaines.

## AUTORISATION

Le cerfa n°15293 est à remplir par le porteur de projet. Les pièces à joindre au dossier sont détaillées dans ce cerfa. Le dossier doit, entre autres, comporter :

- Les différents plans de masse et de situation demandés ;
- Un document justifiant la compatibilité de l'activité de méthanisation avec le PLU ou le POS ;
- L'avis du maire sur l'état dans lequel devra être remis le site lors de l'arrêt définitif de l'unité ;
- Une étude d'impact ;
- Une évaluation des incidences Natura 2000 le cas échéant ;
- Une étude de dangers.

La durée d'instruction d'un dossier en autorisation est d'environ **10 mois**, comprenant notamment une **enquête publique** durant 1 mois.

---

### 4.1.3 L'AUTORISATION DE DEFRIQUEMENT

Le cas échéant, le porteur de projet peut être amené à demander une autorisation de défrichage, si la parcelle sur laquelle il souhaite implanter le projet possède une destination forestière. De façon générale, pour les superficies correspondant à une unité de méthanisation (de 0,5 ha à 10 ha), l'Autorité Environnementale peut selon le cas, demander une étude d'impact ou délivrer une attestation indiquant que l'étude d'impact n'est pas nécessaire. S'il y a étude d'impact, alors elle devra être mise à disposition du public. Pour ces surfaces, une enquête publique n'est pas requise.

## DELAI

Dans le cas où le propriétaire est un particulier, sans réponse dans les **2 mois**, la demande est acceptée par accord tacite. Le délai peut être repoussé à 4 mois, si une reconnaissance des bois est nécessaire.

## AFFICHAGE SUR LE CHANTIER

Le porteur de projet se doit **d'afficher l'autorisation au moins 15 jours avant les travaux**, de manière visible sur le terrain, ainsi qu'à la mairie de la commune sur laquelle se situe le terrain à défricher.

## SANCTIONS

Le défrichage d'une surface supérieure à 10m<sup>2</sup> sans autorisation est puni d'une amende de 150€/m<sup>2</sup>.

---

### 4.1.4 AGREMENT SANITAIRE

La demande d'agrément sanitaire est déposée en même temps que la demande ICPE. L'agrément sanitaire permet de garantir que l'exploitation de l'unité de méthanisation est menée de façon à limiter au maximum la prolifération de pathologies liées à la manipulation de sous-produits animaux (SPAN).

Le dossier est à déposer en préfecture, et doit contenir entre autres les éléments suivants :

- La présentation de l'établissement et de ses activités (comprenant un plan synoptique de l'installation) ;
- La liste des SPAN réceptionnés, leurs natures, leurs provenances et leurs tonnages ;
- Les capacités de stockage de l'unité ;
- Divers plans de l'unité, avec notamment les circuits des matières sur le site, les sources d'approvisionnement en eau, les entrées du site... ;
- Un plan de maîtrise sanitaire comprenant les bonnes pratiques d'hygiène du site, une analyse de danger et des points critiques pour leur maîtrise (abrégé HACCP), ainsi qu'une procédure de gestion des produits non conformes, et de la traçabilité.

La demande est instruite par la Direction Départementale de la Cohésion Sociale et de la Protection des Populations (DDCSPP). A la lecture du dossier et si celui-ci est complet et recevable, la DDCSPP délivre un agrément provisoire, qui ne sera validé qu'après visite de la DDCSPP sur site.

---

### 4.1.5 VOIRIES

Lorsque les travaux nécessitent de :

- Stationner sur la voirie publique sans emprise au sol ;
- Stationner sur la voirie publique avec emprise au sol ;
- Modifier ou interrompre la circulation ;

Il est nécessaire d'effectuer une demande préalable auprès du gestionnaire de la voirie, via le formulaire Cerfa N° 14023\*01. Le délai d'instruction est de deux mois maximum.

---

#### 4.1.6 DECLARATION D'INTENTION DE COMMENCEMENT DE TRAVAUX (DICT)

Cette déclaration à remplir par le Maître d'Ouvrage sous la forme du Cerfa N° 14434\*02 est nécessaire lors de travaux à proximité de réseaux de canalisations. Afin de situer les réseaux, il convient de consulter le service internet de recensement des réseaux (sur <http://www.reseaux-et-canalisation.ineris.fr>), qui permettra également d'obtenir la liste des destinataires auxquels la déclaration doit être adressée.

---

#### 4.1.7 DECLARATION PREALABLE DE COORDINATION D'OPERATIONS DE BATIMENT ET DE GENIE CIVIL

Cette déclaration doit être faite au plus tard 30 jours avant le début des travaux. Le CERFA DE08 doit être envoyé aux organismes suivants :

- L'inspection du travail à la Direction régionale du travail de l'emploi et de la formation professionnelle (DRTEFP) ;
- La Carsat ;
- L'OPPBT (Organisme Professionnel de Prévention du Bâtiment et des Travaux Publics (OPPBT)).

**Extrait de Service-Public.fr :**

*Cette obligation concerne toute opération du secteur du bâtiment ou du génie civil qui remplit l'une des conditions suivantes :*

- *L'effectif prévisible dépasse 20 travailleurs à un moment quelconque des travaux, pour une durée dépassant 30 jours ouvrés ;*
- *Le volume prévu des travaux est supérieur à 500 hommes-jour.*

*Pour déterminer le nombre d'hommes-jour, il faut appliquer la formule suivante : Nombre de mois x 20 jours ouvrés x nombre moyen de travailleurs par jour sur le chantier.*

Cette déclaration est donc obligatoire pour la plupart des chantiers de construction d'une unité de méthanisation.

---

#### 4.1.8 OBLIGATION D'ACHAT

Afin de bénéficier de l'obligation d'achat de l'électricité dans le cadre d'une valorisation par cogénération, le porteur de projet doit obtenir un Certificat Ouvrant Droit à l'Obligation d'Achat (CODOA), délivré par la DREAL dans un délai de 2 mois environ après réception du dossier de demande complet.

## 4.2 ASSURANCES

### 4.2.1 ASSURANCES DU MAÎTRE D'OUVRAGE

#### **ASSURANCE TOUS RISQUES CHANTIERS (TRC)**

Elle est à la charge du Maître d'Ouvrage. Cette assurance est facultative mais très fortement recommandée. Elle est souscrite par un maître d'ouvrage, un maître d'œuvre ou une entreprise générale pour un chantier, dont les garanties bénéficient tant au maître d'ouvrage qu'à chacun des intervenants sur le chantier. Elle est valable durant toute la période des travaux à compter de l'ouverture du chantier. Cette assurance ne couvre pas les dommages corporels sur le chantier. Ces derniers sont couverts par l'assurance en responsabilité civile. Les dommages de nature décennale sont également exclus.<sup>3</sup>

Elle couvre :

- L'ensemble des dommages matériels causés à l'ouvrage final ou à l'ouvrage provisoire sur un chantier en cours
- Les dommages (effondrement, incendie, dégât des eaux, tempête, vandalisme, etc) aux matériaux et équipements à compter de leur dépôt sur le site du chantier.

**Budget** : 2,5 à 3,5 pour 1000 du budget du chantier

#### **ASSURANCE TOUS RISQUES MONTAGE ESSAIS (TRME)**

L'assurance TRME englobe les fonctions de l'assurance TRC, avec en plus la couverture de la partie montage et essais.

**Budget** : Environ 5 pour 1000 du budget du chantier

#### **RESPONSABILITE CIVILE PROFESSIONNELLE (RC PRO)**

Légalement, toute personne doit réparer les dommages causés par les conséquences de ses actes, de sa négligence, de son imprudence, de ses salariés, de ses bâtiments ou ses machines. La responsabilité civile professionnelle permet au Maître d'Ouvrage de se protéger face à l'ensemble de ces risques. Elle est vivement conseillée d'une part pour couvrir les risques résultant de l'auto-construction d'une partie de l'unité (silos de stockage, bâtiment...), et d'autre part pour couvrir la phase d'exploitation de l'unité. Il est également vivement conseillé de prendre une option « atteinte à l'environnement », au vu des risques engendrés par l'exploitation d'une unité de méthanisation au regard de l'environnement.

Deux possibilités de garanties peuvent être proposées au choix : une responsabilité civile du maître d'ouvrage, dans le cadre de laquelle seul le maître d'ouvrage est assuré, ou bien une responsabilité civile de chantier, où le maître d'ouvrage ainsi que tous les intervenants du chantier sont assurés.

---

<sup>3</sup> Source : CA de la Nièvre

### ASSURANCE DOMMAGE OUVRAGE

Cette assurance, à la charge du maître d'ouvrage, est obligatoire pour les constructions neuves. Elle permet le remboursement ou la réparation des désordres relevant de la garantie décennale, sans attendre les décisions de justice. La compagnie fournissant cette garantie doit faire effectuer les travaux nécessaires déterminés par une expertise unique. A charge pour elle de se retourner ensuite contre le ou les responsables des désordres constatés. Le point de départ de la garantie débute au terme de la première année suivant la réception des travaux, elle prend ainsi la suite de la garantie de parfait achèvement et prend fin au terme de la garantie décennale.

Elle couvre :

- Les risques de dommages accidentels affectant l'ouvrage et/ou les équipements et matériaux utilisés et risques de dommages aux tiers imputables au chantier ;
- Après la réception des travaux, les risques de malfaçons atteignant les bâtiments

### ASSURANCE PERTE D'EXPLOITATION

L'assurance perte d'exploitation n'est pas obligatoire. Elle peut être souscrite par le Maître d'Ouvrage durant toute la phase d'exploitation de son unité, afin de couvrir d'une part les bris de machines, et d'autre part, en option, les pertes d'exploitations de l'unité au cours par exemple des arrêts moteurs, des phases de maintenance, etc.

---

#### 4.2.2 ASSURANCES DU CONSTRUCTEUR OU MAITRE D'ŒUVRE

##### RESPONSABILITE CIVILE PROFESSIONNELLE / GARANTIE DECENNALE

Dans le cas du concepteur/constructeur ou du Maître d'œuvre, une responsabilité civile professionnelle en conception et réalisation permet de couvrir les sinistres causés par celui-ci. Elle couvre les erreurs de conception (calculs, ingénierie...), de suivi et de coordination de chantier, mais aussi les dégâts causés par l'intervenant sur site, lors de visites de chantier par exemple.

**Attention** : il faut bien demander à ce que cette responsabilité professionnelle soit une responsabilité décennale, car ce n'est pas systématique sur les ouvrages de process.

**Il faut également faire attention à ce que cette couverture soit portée par l'assureur et gérée par capitalisation.** En effet, si c'est une simple garantie d'entreprise, le Maître d'Ouvrage ne pourra pas prétendre à un dédommagement en cas de liquidation de l'entreprise. La RC Pro doit également être nominative du chantier en question, et validée pour ce chantier précis par l'assureur.

---

#### 4.2.3 ASSURANCES DES ENTREPRISES INTERVENANT SUR LE CHANTIER

##### GARANTIE DE PARFAIT ACHEVEMENT

Elle couvre les défauts signalés par le Maître d'Ouvrage au travers des réserves citées au procès-verbal de réception, et les défauts qui n'étaient pas visibles lors de la réception, signalés après réception des travaux sur une période d'un an. Les défauts pris en charge sont les défauts de conformité, issus de malfaçons ou non exécutés selon la commande.

## RESPONSABILITE CIVILE PROFESSIONNELLE / GARANTIE DECENNALE

Elle garantit la réparation des dommages qui se produisent sur les gros ouvrages après la réception des travaux. Elle concerne les vices ou dommages de construction qui peuvent affecter la solidité de l'ouvrage et de ses équipements indissociables (par exemple, effondrement résultant d'un vice de construction), ou qui le rendent impropre à l'usage auquel il est destiné (par exemple, défaut d'étanchéité, fissurations importantes).

Le dommage peut résulter d'un défaut de conformité ou d'un vice de sol.<sup>1</sup>

Attention : il faut bien demander à ce que cette responsabilité professionnelle soit une responsabilité décennale, car ce n'est pas systématique sur les ouvrages de process.

Il faut également faire attention à ce que cette couverture soit portée par l'assureur et gérée par capitalisation. En effet, si c'est une simple garantie d'entreprise, le Maître d'Ouvrage ne pourra pas prétendre à un dédommagement en cas de liquidation de l'entreprise.

## 5 METTRE EN SERVICE UNE INSTALLATION EN VOIE SECHE DISCONTINUE

### 5.1 ESSAIS EN EAU DES RESERVOIRS

Les essais en eau sont nécessaires pour les ouvrages devant contenir des liquides. Les préconisations pour ces essais en eau sont issues du Fascicule 74, partie « Essais et contrôles ». Ils sont effectués par l'entreprise titulaire du marché de construction du Génie Civil, mais l'eau nécessaire est mise à disposition par le maître d'ouvrage.

Durant l'essai, le remplissage doit être régulier et lent, de manière à remplir par tranches journalières inférieures à 1m de hauteur. Le niveau d'eau est maintenu au moins pendant 10 jours suivant la fin du remplissage. Dans le cas d'une batterie de cuves (exemple : garages), il est nécessaire de remplir simultanément les cuves voisines. Il faudra ensuite « vider les cuves de façon alternée et dans un ordre quelconque pour vérifier le comportement des parois intermédiaires ».

Les éventuelles fuites doivent être constatées au plus tôt 10 jours après le remplissage de l'ouvrage. « A l'expiration de ce délai et compte tenu de l'évaporation, les pertes ne doivent pas dépasser une valeur moyenne de 500 cm<sup>3</sup> par mètre carré de paroi mouillée et par jour pour un réservoir sans revêtement, et 250 cm<sup>3</sup> pour un réservoir muni d'un revêtement d'imperméabilisation ou d'étanchéité. Cette condition peut être considérée comme remplie, si l'on ne constate pas de fuite apparente. »

### 5.2 TESTS EN PRESSION DES CANALISATIONS

Les tests en pression des différentes canalisations du site permettent de vérifier que celles-ci sont bien imperméables au fluide qu'elles doivent contenir, en vérifiant la qualité des soudures effectuées. Ces tests sont effectués à l'air (mis sous pression) pour les conduites de biogaz, et à l'eau pour les conduites de matières. Si une fuite est repérée, elle doit être réparée avant la mise en service de l'unité.

### 5.3 TESTS DES GAZOMETRES

Cette étape est réservée aux gazomètres qui restent fixes sur l'installation : sur les garages de digestion et sur les cuves à percolâts équipées d'un gazomètre.

Le but est de détecter les fuites au niveau des fixations des gazomètres, pour éviter des pertes en méthane, l'entrée d'air dans le digesteur à un moment non désiré, et la création de zones ATEX à des endroits non prévus.

Il est préconisé d'effectuer ces tests après deux ou trois temps de séjour, afin que les gazomètres aient bien adopté leur place dans les ancrages. Le principe du test est de disposer de l'eau savonneuse au niveau de toutes les fixations des gazomètres, lors de la montée en pression de ces derniers. Si une fuite est présente, elle provoquera la formation de bulles visibles, permettant de localiser l'endroit où doit être effectuée une réparation. Des détections par caméra Infra Rouge Thermiques peuvent être effectuées également.

#### 5.4 REGLAGE DE LA MESURE DU NIVEAU DU GAZOMETRE

Le système de mesure du niveau de biogaz dans le gazomètre doit être étalonné.

##### SYSTEME AVEC CORDES TENDUES

La jauge de remplissage du stock de biogaz se fait entre 0% et 100% de la capacité de stockage. Le 0% doit être réglé lorsque l'enceinte de digestion est ouverte, et que la bêche est posée sur son support. Le 100% doit être réglé au maximum de la pression de réglage des soupapes (généralement entre 1.5 et 5 mbar).

##### SYSTEME AVEC DIFFERENTIEL DE PRESSION

Pour le système de mesure avec différentiel de pression, l'étalonnage de la mesure à 0 mbar de surpression doit s'effectuer lorsque l'enceinte est ouverte et à pression atmosphérique. Le réglage du maximum de stockage doit correspondre au maximum de la pression de réglage des soupapes.

#### 5.5 REGLAGE ET ETALONNAGE DES CAPTEURS

Lors de la mise en service, l'ensemble des capteurs doivent être étalonnés et vérifiés. Les sondes de températures peuvent être étalonnées en utilisant un seau rempli d'eau, successivement à plusieurs températures, et un thermomètre digital afin de connaître la température de référence à utiliser. De même, la sonde de pH peut être étalonnée en utilisant une batterie de solutions à pH connu.

#### 5.6 REGALAGE ANALYSEUR BIOGAZ

L'étalonnage de l'analyseur biogaz se fait selon les prescriptions du fournisseur. Cet étalonnage fait généralement intervenir un gaz étalon.

#### 5.7 REGLAGES DE L'AUTOMATISME ET DES ALARMES

L'étape de réglage de l'automatisme de l'unité est cruciale pour son bon fonctionnement. Il est nécessaire de réaliser une batterie de simulations d'automatismes, de mesures de niveaux, d'alarmes, afin de vérifier le fonctionnement correct de l'ensemble.

Toutes les chaînes d'alarmes doivent notamment être testées (niveaux hauts, détection incendie, présence de CH<sub>4</sub>, etc.), et les paramètres d'envoi de messages et d'appels téléphoniques en cas d'alerte doivent être mis en place.

C'est également l'occasion de vérifier que les règles d'interdiction sont effectivement bien en place (par exemple que la pompe se coupe bien lorsqu'un delta de pression trop fort est détecté, ou bien lorsque toutes les vannes du ring de pompage sont fermées.



## 5.8 REGLAGE DES SOUPAPES

Les soupapes doivent être réglées en dépression et en surpression. Le réglage en surpression doit être effectué selon les prescriptions du fournisseur du gazomètre, afin d'être en adéquation avec les plages de bon fonctionnement de ce dernier. Le réglage en dépression doit être en adéquation avec les réglages de l'outil de valorisation du biogaz, par exemple avec la dépression générée par un moteur de cogénération.

## 5.9 REGLAGE DES NIVEAUX LIQUIDES

Les niveaux liquides sont mesurés de deux façons : les taux de remplissage sont indiqués par des capteurs analogiques, et les limites de niveau haut ou de niveau bas sont indiqués par des capteurs Tout Ou Rien (TOR). Les capteurs analogiques doivent être étalonnés, et les capteurs TOR doivent être testés, afin de vérifier qu'ils déclenchent bien l'alarme adéquate.

## 6 METTRE AU POINT UNE INSTALLATION EN VOIE SECHE DISCONTINUE

### 6.1 MIX DE RATIONNEMENT

#### 6.1.1 ADAPTER LE MIX

L'optimisation de la ration au moment de la mise au point de l'unité est une étape centrale et cruciale pour le bon fonctionnement d'une unité en voie sèche discontinue, la dégradation des matières dans ce type de procédé étant moins connue et moins maîtrisée que dans le cadre d'un procédé en voie liquide infiniment mélangé.

L'**observation de la production de gaz au cours du temps** peut également permettre de régler la quantité des intrants intégrés, notamment en cas de surproduction et de dégazage par les soupapes.

Dans une phase de mise au point, des **caractérisations du milieu de digestion** (profil de concentration des AGV, ration FOS/TAC, pH, taux d'azote ammoniacal...), peuvent permettre d'ajuster les quantités de matières intégrées suivant leur dégradabilité et leur pouvoir tampon, afin d'optimiser le processus de digestion anaérobie.

La **consistance des intrants** est également un élément crucial dans la mise au point d'une unité de méthanisation en voie sèche. En effet, comme précisé dans le paragraphe 1.4.2., la bonne circulation des percolâts dans le tas permet d'assurer la bonne mise en contact des bactéries impliquées dans le processus de méthanisation avec le substrat à dégrader. Ainsi, la constitution d'un tas aéré et permettant au liquide de percoler est essentielle pour le bon fonctionnement de l'unité.

L'idéal est que le mix d'intrants incorporé aux digesteurs comporte à la fois des matières capables de dégager rapidement du méthane, ainsi que des matières dont la libération du méthane est plus longue, et qui ont un bon pouvoir tampon comme le fumier, afin de garder un **débit de gaz** le plus cohérent possible pendant toute la durée de la digestion.

#### 6.1.2 ADAPTER LA PREPARATION DE LA MATIERE

La préparation de la matière est une étape cruciale dans le processus de méthanisation en voie sèche. Cette préparation, conseillée aujourd'hui par la plupart des concepteurs d'unités voie sèche, consiste à mettre tout ou partie des matières à digérer en tas aérés, et à laisser naturellement chauffer le tas pendant une période donnée, avant de l'incorporer à l'enceinte de digestion.

Les paramètres pouvant influencer sur l'efficacité de la préparation matière sont :

- La **durée de la préparation**. Celle-ci doit être assez longue pour que le tas monte bien en température, mais une préparation trop longue peut entamer le potentiel méthanogène de la matière.
- L'**aération de l'andain**. Ce paramètre est conditionné d'une part par la structure du tas même (nature des intrants, méthode de préparation du tas), mais aussi par ses dimensions : si celui-ci est trop grand, il aura tendance à se tasser, et les matières au cœur de l'andain ne seront pas en contact avec l'oxygène.

Dans une phase de mise au point d'unité, on peut envisager une période de tests de préparation de matières, avec une surveillance par sondes de température placées dans le tas, afin de régler ces paramètres.

## 6.2 TEMPS DE SEJOUR

Durant la phase de mise au point, il est important d'adapter le temps de séjour à la cinétique de production de biogaz du digesteur.

Le temps de séjour choisi dépendra également du mode d'exploitation « extensif » ou « intensif » choisi pour le projet.

Un temps de séjour trop court induira une mauvaise **optimisation des matières intégrées** au digesteur, alors qu'un temps de séjour trop long ne permettra pas de **conserver un débit de production de biogaz correct**, et pourra pénaliser d'une part la vente de méthane ou d'électricité et d'autre part le chauffage des enceintes de digestion, dans le cas d'une valorisation par cogénération.

Le temps de séjour à employer n'est pas universel, il dépend du procédé, et surtout de la ration utilisée. En effet, les matières ne se dégradent pas toutes à la même vitesse.

Ainsi, le temps de séjour optimal sera différent d'une unité à l'autre, en fonction du procédé mis en œuvre, et du mix d'intrants utilisé. Ce temps de séjour fait partie des éléments à **mettre au point** lors de la période de mise en service de l'unité, dans le cadre d'un partenariat entre le porteur de projet et le constructeur ou Maître d'œuvre.

## 6.3 PERCOLATS

Les conditions d'utilisation des percolâts constituent encore des axes de recherches chez les concepteurs et constructeurs d'unité en voie sèche discontinue. Ceci est notamment dû à la difficulté d'évaluer si le tas va absorber ou au contraire relarguer du liquide, ainsi qu'aux inconnues sur le comportement du tas au cours de la digestion. Les pratiques citées ci-après correspondent à des observations de terrain, lors des audits de sites réalisés par Biogaz Ingénierie.

### 6.3.1 REGLAGE DE TEMPERATURES DES PERCOLATS

La température des percolâts doit être réglée de telle sorte que ceux-ci soient capables de maintenir le tas en digestion à une température correcte pour la digestion. Selon les pratiques de montée en chauffe du tas avant intégration au garage, et selon la conception et les déperditions de chaleur en résultant, le besoin en chaleur peut varier.

Les températures de chauffe des percolâts constatées sur les sites de méthanisation en procédé garages se situent autour de 40 à 45°C.

Dans une étape de mise au point de l'unité, la mesure de la température des percolât entrant et sortant de l'enceinte de digestion peut être intéressante, afin de constater l'efficacité du transfert de chaleur, et les besoins en chaleur du tas.

---

### 6.3.2 REGLAGE DU PHASAGE DE PERCOLATION

La quantité percolée et le phasage de percolation varie beaucoup d'une conception à l'autre. La tendance générale que l'on peut déceler est la mise en place d'une percolation plus forte en début de digestion, et d'une percolation plus faible ensuite, ainsi que d'une phase de ressuyage, sans aucune percolation. Cette dernière phase permet au tas de s'essorer, et ainsi de limiter la quantité d'eau stockée dans le tas au moment du déchargement de l'enceinte.

Le tas de matières se tasse tout au long de la digestion, et devient de plus en plus perméable au percolât. L'aspersion d'un volume dégressif est donc une bonne pratique, puisque plus la digestion avance, moins le percolât passera à l'intérieur du tas.

D'une façon générale, dans la recherche de l'optimum de fonctionnement en termes de quantités aspergées et de phasage, il sera prudent d'effectuer des tests en prêtant une attention toute particulière à la fermeture des tas et à la formation de nappes perchées.

## 7 EXPLOITER UNE INSTALLATION EN VOIE SECHE DISCONTINUE

### 7.1 METHODES DE PILOTAGE DU RATIONNEMENT DE L'UNITE DE PRODUCTION

Au cours de l'année et de la vie de l'unité, le rationnement va être plus moins changeant, en fonction notamment de la saisonnalité ou de la disponibilité des matières. Les exploitants doivent piloter leur unité avec ces changements, en adaptant leur mix.

L'important est de pouvoir garder à la fois :

- Un certain pouvoir tampon, notamment à travers des intrants comme le fumier, afin de conserver une réaction stable ;
- Un tas structuré, afin de permettre la meilleure circulation possible du digestat ;
- La quantité d'énergie suffisante pour faire fonctionner correctement l'unité ;
- Des intrants avec des cinétiques permettant de garder un débit cohérent de biogaz entre le début et la fin de la digestion.

Les exploitants doivent également avoir conscience des caractéristiques de leurs intrants en termes de consistance, de capacité drainante, et d'évolution au sein de l'enceinte de digestion, afin de gérer notamment les risques liés aux nappes de percolât perchées.

La bonne connaissance des intrants et de leur effet sur le mix permet aussi de limiter les risques liés à la biologie (risque d'acidose, d'alcalose, production trop élevée d'H<sub>2</sub>S...). De façon générale, lorsqu'un nouvel intrant est intégré au mix, il peut être judicieux de commencer par l'intégrer en faible quantité, afin de mesurer ses effets, pour ensuite atteindre petit à petit la quantité à intégrer désirée.

L'adaptation du mix doit également se faire d'un point de vue énergétique, afin d'atteindre les performances voulues (débit de biométhane, pleine charge du moteur de cogénération), sans pour autant perdre de gaz.

### 7.2 PARAMETRES A SURVEILLER

La bonne marche de l'unité de méthanisation est conditionnée à une surveillance rigoureuse des paramètres pouvant traduire une dérive biologique du procédé. La liste faite ici est non exhaustive, et peut être complétée selon le fonctionnement de chaque site.

#### 7.2.1 TEMPERATURE DE FONCTIONNEMENT

Comme mentionné précédemment, le tas doit entrer déjà chaud dans l'enceinte pour un bon fonctionnement biologique de la digestion. La surveillance de la **température du tas entrant** dans l'enceinte de digestion, après préparation de la matière, permet de vérifier l'efficacité de cette préparation. Cette vérification peut se faire avec une **sonde de température mobile**, insérée manuellement dans le tas par l'exploitant.

La surveillance de la **température au sein des enceintes** pendant la digestion, permet d'évaluer le fonctionnement du procédé en termes d'échanges de chaleur. Elle permet également d'expliquer des **dynamiques de digestion** et de production de biogaz en les reliant à la température de digestion, notamment si celle-ci présente des variations.

---

### 7.2.2 PERCOLATS

La connaissance de la **température des percolâts** permet de **piloter les transferts thermiques** entre la chaudière ou le moteur de cogénération et le procédé. Elle permet également de **détecter les difficultés de chauffage** liées à un problème technique : automatisme, encrassement du système de chauffage, sédimentation au fond de la cuve amputant une partie de la capacité de chauffe, etc.

La **surveillance du pH et de la composition des percolâts** est également importante, pour détecter notamment une acidification du milieu, l'accumulation d'azote ammoniacal, une concentration en métaux lourds anormale, ou tout autre phénomène pouvant **inhiber le procédé biologique de méthanisation**. La surveillance du pH peut se faire de manière continue grâce à une sonde intégrée à la cuve. Pour les autres paramètres, une analyse de percolâts peut être réalisée de manière périodique, en envoyant un prélèvement à un laboratoire d'analyse. La fréquence des prélèvements est alors à déterminer selon le niveau de maîtrise de l'unité, la stabilité dans le temps de la digestion, la volonté de l'exploitant de tester l'effet de nouveaux intrants, etc.

L'**accumulation d'azote ammoniacal** peut notamment être rencontrée sur les unités où la matière à digérer n'est ni excédentaire, ni déficitaire en jus. Ainsi, les percolâts ne sont jamais évacués (puisque la matière ne relargue pas de liquide), et jamais dilués par un ajout de liquide (puisque les matières ne captent pas le percolât). L'azote ammoniacal présent dans les matières se retrouvant facilement dans la phase liquide, celui-ci risque d'être capté par les percolâts, et de s'accumuler à mesure. A forte concentration, celui-ci risque d'inhiber la digestion dans le tas qu'il traverse. Dans ce cas de figure, la surveillance de la concentration en azote ammoniacal peut permettre de décider de la **fréquence de remplacement des percolâts**.

Dans la même optique, il convient de vérifier régulièrement les **niveaux de percolâts** dans les cuves, afin de constater toute surproduction ou au contraire déficit en jus.

---

### 7.2.3 BIOGAZ

Il est intéressant de pouvoir mesurer la **qualité du biogaz, digesteur par digesteur**. Elle permet en effet d'indiquer si le processus de digestion anaérobie se déroule bien. Au démarrage d'un garage, la teneur en CO<sub>2</sub> est normalement plus élevée que celle en CH<sub>4</sub>, puis la tendance doit s'inverser au cours des 12 à 48 premières heures de digestion. Si ce n'est pas le cas, on peut craindre que le garage ne soit en acidose, et que la digestion ne démarrera pas. Dans ce cas, il conviendra de sortir la matière, de lui apporter du pouvoir tampon (fumier), de la préparer à nouveau (pré-compostage), avant de redémarrer la digestion anaérobie dans l'enceinte.

Enfin, la **quantité de biogaz stockée** en gazomètre, ainsi que la **quantité et la qualité du biogaz en entrée du module de valorisation** sont bien évidemment des données cruciales à surveiller, afin de **détecter une éventuelle dégradation dans la qualité de la digestion**, et aller ensuite explorer les raisons de ce changement de dynamique.

### 7.3 OPERATIONS DE MAINTENANCE ET DE SURVEILLANCE DES CAPTEURS ET EQUIPEMENTS

Afin de pouvoir suivre correctement les paramètres cités précédemment, il convient de disposer de capteurs bien réglés et étalonnés. Ce paragraphe vise à lister les réglages et étalonnages nécessaires sur ces capteurs, ainsi que les vérifications à effectuer sur les autres équipements du procédé.

A chaque déchargement des digesteurs, les capteurs de niveau biogaz doivent se retrouver à 0, puisque l'enceinte est ouverte. Cela peut être vérifié à chaque vidange. Un étalonnage est nécessaire si l'on constate une dérive au niveau de cette mesure de niveau.

Organe primordial de sécurité, les soupapes biogaz reliées aux gazomètres doivent être surveillées quotidiennement. Le niveau de liquide dans la soupape doit être vérifié et ajusté, et de l'antigel doit être ajouté en période hivernale, pour éviter le gel. On vérifiera également que la soupape ne soit pas en dégazage permanent, ce qui pourrait traduire qu'une coupelle est coincée, par exemple.

Le nettoyage de la soupape se fait annuellement, mais il doit également être effectué à chaque montée de niveau ou de moussage qui a pu encrasser la soupape.

La présence de fuites au niveau des joints pneumatiques doit également être vérifiée une fois par trimestre de manière préventive.

La détection d'éventuelles fuites de gaz au niveau des gazomètres peut se faire grâce à une caméra thermique, et peut être réalisée dans l'idéal une fois par an.

Lors de chaque déchargement de digesteur, les caniveaux ou grilles de récupération des jus doivent être nettoyés, afin d'assurer la bonne évacuation des jus durant la prochaine digestion. Le déchargement est également l'occasion de vérifier que les capteurs de niveau haut des puisards de collecte des jus sont en état de fonctionnement. Une fois par an, on peut prévoir de tester le fonctionnement des poires de niveau ou des capteurs diélectriques (capteurs TOR), et le fait qu'ils engendrent bien une alarme. Enfin, dans le cas des capteurs diélectriques, un nettoyage pourra être prévu à chaque trimestre, ainsi qu'à chaque incident de niveau haut.

L'analyseur biogaz peut être étalonné une fois par an, selon les prescriptions du fournisseur.

L'ensemble des sondes de température peut être vérifié et étalonné une fois par an. La méthode utilisée peut, de même que pour l'étalonnage de mise en service, consister à comparer la température donnée par la sonde à celle donnée par un thermomètre digital, tous deux plongés dans un seau d'eau, à plusieurs températures.

Les sondes de pH sont étalonnées selon les préconisations du fabricant.

Le bon fonctionnement des capteurs du ring de pompage (capteurs de pression, de positionnement des vannes) peut être vérifié régulièrement au cours de l'exploitation, en regardant notamment la cohérence de l'affichage sur l'automate avec le positionnement réel des vannes. Si une dérive est détectée, les vannes concernées doivent être étalonnées.

Le débitmètre du ring de pompage peut être vérifié tous les 6 mois, en comparant par exemple la cohérence entre les valeurs de soutirage et de relargage dans la cuve à percolât, et les variations de niveau de celle-ci.

Il convient de surveiller le niveau de sédimentation dans le fond de la cuve à percolâts. Les dépôts de matière solide au cours du temps diminuent le volume de stockage disponible pour les percolâts, et peuvent également empêcher le bon fonctionnement du système de chauffage, si une partie de celui-ci est ensevelie dans les sédiments. La vitesse de sédimentation est différente selon les sites, certaines matières étant plus propices à la sédimentation que d'autres (lisiers de porcs par exemple). Après 12 à 18 mois d'exploitation, un premier test à la perche peut être réalisé pour évaluer la vitesse de sédimentation, et prévoir un délai pour la première intervention de curage.

#### 7.4 SECURITE DES INTERVENTIONS

Durant toutes les interventions sur site, il est important que les intervenants aient conscience des problématiques **ATEX** et d'**espaces confinés** sur site. L'ensemble des intervenants doivent être formés à ces questions, et connaître le **plan de zonage ATEX** du site.

Si des salariés sont amenés à effectuer des manipulations sur l'unité de méthanisation, ceux-ci doivent avoir pris connaissance du **DUERP** (Document Unique Evaluation des Risques Professionnels), document obligatoire depuis 2001 dans toutes les entreprises, quel que soit le nombre de salariés. Ce document permet l'identification des dangers, et des mesures de prévention spécifique au site de méthanisation.



## 8 CONCLUSIONS ET OUVERTURES

### 8.1 RETOURS D'EXPERIENCE ET POINTS DE VIGILANCE TECHNIQUES ET ECONOMIQUES

Suite aux audits de sites de méthanisation en voie sèche discontinués réalisés par Biogaz Ingénierie pour le compte de l'ADEME Bourgogne Franche Comté, des points critiques récurrents sur ce type d'unités ont été remarqués, tant sur la conception technique qu'économique des sites, ainsi que sur leur exploitation. La liste suivante reprend certains des points importants sur lesquels il convient d'être vigilant lorsque l'on décide de mener un projet de méthanisation en voie sèche discontinuée.

#### 8.1.1 LES INTRANTS

Quel que soit le type de procédé adopté, la ration d'intrants déterminée pour la conception doit absolument être **sécurisée en termes d'approvisionnement**. Les intrants doivent également passer par des **tests de potentiel méthanogène**, ou de caractérisation de base pour connaître leur taux de matière sèche et de matière organique. Il arrive en effet qu'un projet échoue parce que les exploitants n'arrivent pas à capter la matière initialement prévue, ou bien que celle-ci n'a pas la qualité envisagée : c'est donc une question cruciale lors de la conception.

Il est également important d'avoir des notions sur la **cinétique de dégradation du mix**, afin de cibler dès la conception un temps de séjour raisonnable pour l'unité.

L'**aspect drainant du mix** est également important, pour permettre d'obtenir des tas drainants en digestion, qui peuvent facilement être traversés, et donc ensemencés par les percolâts. Afin d'appréhender cette notion, on peut envisager des tests sur site, avec les vraies matières envisagées.

#### 8.1.2 GENIE CIVIL

Des problèmes de génie civil sont apparus sur un certain nombre des unités auditées dans cette mission. Cette question reste donc un point de vigilance central dans la conception d'unités en voie sèche discontinuée. Les **hypothèses** concernant le fonctionnement du process, les forces et les gradients appliqués aux structures doivent être assez **sécuritaires** pour permettre une bonne résistance des unités en voie sèche discontinuée.

#### 8.1.3 GESTION DES PERCOLATS

La gestion des percolâts est une problématique forte sur les unités qui ont été auditées. Il est important que les points suivants soient respectés pour le bon fonctionnement des unités :

- Il faut que les **tas** formés soient **drainants** afin de ne pas créer de nappes perchées dans les enceintes de digestion. Le paillage au fond des digesteurs s'est révélé efficace pour rendre le mix plus drainant et limiter le bouchage des caniveaux de collectes par des boues épaisses.
- La bonne gestion des percolâts passe par l'installation sur le ring de pompage d'un **débitmètre** permettant de connaître le volume aspergé dans un digesteur, ainsi que le volume relevé.
- L'installation de **capteurs TOR dans les caniveaux** de récupération des jus permet d'émettre une alarme, et de stopper l'aspersion lorsque le niveau de liquide est trop haut dans le digesteur.

#### 8.1.4 PORTES ET PRE-PORTES

Les porte et les contre-portes sur les installations garages auditées posent différents problèmes :

- **Des problèmes de résistance** : face à la poussée des percolâts.
- **Des problèmes de fuites** : de gaz et de matière.

Ces aspects doivent donc être améliorés et sécurisés pour garantir un fonctionnement optimal de ce type d'unités.

#### 8.1.5 TEMPS D'EXPLOITATION

Sur plusieurs des sites audités, la main d'œuvre avait été sous-évaluée, pour la réalisation de l'ensemble des tâches afférentes à l'unité de méthanisation, causant un écart de charges de main d'œuvre pour l'unité, ou bien un surplus de main d'œuvre parfois assumé par la ferme.

Il convient lors de la conception, et de la construction du Business Plan, d'**évaluer correctement** tous les postes chronophages de l'unité.

### 8.2 AXES DE RECHERCHE ET DE DEVELOPPEMENT POUR L'AVENIR DE LA METHANISATION EN VOIE SECHE DISCONTINUE

Certains phénomènes de la digestion anaérobie en voie sèche restent flous : création de nappes perchées de percolât indésirables, restructuration du tas pendant la digestion, évolution de la température au sein du tas en aérobie et en anaérobie, etc.

Afin de pouvoir déterminer les bonnes pratiques à adopter en matière de percolation (cadences, quantités), de temps de séjour, de température, et de préparation de matière, ces phénomènes doivent continuer à être observés, sur les sites de méthanisation et en digesteur pilote.

Afin de mieux comprendre le fonctionnement de la voie sèche, les concepteurs, constructeurs, et chercheurs devront répondre à différentes problématiques :

- Comment évolue le tas lors de la digestion anaérobie, selon les intrants qu'il contient ? Comment se forment les chemins préférentiels des percolâts dans la matière ?
- Comment éviter que le tas ne soit ou ne devienne imperméable aux percolâts ?
- Comment adopter une préparation de la matière optimale selon son mix d'intrants, c'est-à-dire assez longue pour faire monter le tas en température et hydrolyser les matières les plus difficiles à dégrader (paille...), mais sans pour autant amputer le potentiel méthanogène des matières ?

La méthanisation en voie sèche discontinue, bien qu'elle apparaisse comme plus simple en termes de procédé et d'exploitation, est en réalité complexe à appréhender et demande une mise au point particulière sur chaque site. Pour autant, elle ouvre de nombreuses perspectives de développement s'adaptant au mieux à certaines zones agricoles.