



Maj
2020

SAM

BONNES PRATIQUES POUR LE STOCKAGE DE MATIERE AVANT METHANISATION



RAPPORT

ADEME



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

En partenariat avec :



INSA | INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
LYON



REMERCIEMENTS

Nous remercions pour leur contribution à l'élaboration et à la relecture du guide :

Jacques CAPDEVILLE Institut de l'Elevage



Hélène CARRERE INRA



Bertrand GUERIN AAMF



Pierre DISPAN de FLORAN Eneria



Nous remercions les producteurs qui ont fourni les matières utilisées pour les essais laboratoire et les essais sur site réalisées dans le cadre de cette étude :

- SCIC Sologne Agri Méthanisation à Lamotte Beuvron
- Fédération française d'équitation
- SARL Méthalayou
- GIE GAO (ARVALIS/Terres Univia/Terres Inovia) pour la fourniture des CIVEs produites dans le cadre du programme OPTICIVE (soutenu par l'ADEME)

Ces essais ont permis de mieux connaître le comportement des matières pendant leur stockage et de définir des bonnes pratiques de stockage.

Nous remercions les exploitants d'unités de méthanisation ayant répondu à l'enquête sur les pratiques de stockage. Ces retours ont permis de mieux connaître les pratiques de stockage en place à ce jour.

CITATION DE CE RAPPORT

PEYRELASSE C., LALANNE M., MONLAU F., de l'APESA, et BUFFIERE P., BAYARD R., TEIXEIRA F., de l'INSA deep. 2017. SAM – Bonnes pratiques pour le stockage de matière. ADEME. 55 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr/mediatheque

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

Ce document est diffusé par l'ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 1506C0038

Étude réalisée par l'APESA, INSA et DEEP pour ce projet cofinancé par l'ADEME

Appel à projet de recherche : DOSTE

Coordination technique - ADEME : THUAL Julien Ingénieur

Direction/Service : Service Mobilisation des Valorisation des Déchets.



RÉSUMÉ

Les installations de méthanisation (à la ferme ou centralisées) reçoivent généralement plusieurs flux de matières, et ce d'une manière régulière ou ponctuelle. La nature de ces déchets organiques est hautement variable :

- ils peuvent être facilement dégradables et fermentescibles, il s'agit par exemple des cultures intermédiaires, résidus d'élevage ou certains déchets agro-alimentaires,
- ils peuvent également être plus difficilement dégradables à l'exemple des résidus lignocellulosiques (*i.e* paille, canne de maïs).

La gestion de ces flux impose aux porteurs de projets, aux concepteurs d'installations, ainsi qu'aux exploitants la mise en œuvre de stratégies de stockage de courte ou moyenne durée afin de préserver la matière et son potentiel méthane.

La collecte et le transport des matières doivent être organisés pour réduire au maximum le délai entre la production et le traitement. L'introduction dans le digesteur se fera le plus rapidement possible après réception permettant de limiter :

- la perte de matière organique (MO) facilement biodégradable et donc le potentiel méthane,
- les risques, pour les opérateurs, associés aux émissions de gaz de fermentation (NH_3 , H_2S , ...),
- les émissions pendant le stockage (odeurs, pollution de l'air...),
- les volumes et surfaces de stockages (réduction des coûts) (2).

Certaines pratiques sont à privilégier pour limiter les pertes et les nuisances inhérentes au stockage. Afin de maximiser la rentabilité de la future unité de méthanisation, il est important de sensibiliser à la fois les porteurs de projet et les exploitants aux techniques de stockage afin de ne pas impacter la rentabilité générale de l'unité.

Ce guide a pour objectif d'aider les concepteurs, exploitants et spécialistes d'installations de méthanisation (à la ferme ou centralisées) dans la définition de stratégies de stockage des intrants.



LEXIQUE

AAMF	Association des Agriculteurs Méthaniseurs de France
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AFSSA	Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments
APESA	Association pour l'Environnement et la Sécurité en Aquitaine
C	Carbone
CIVE	Culture Intermédiaire à Vocation Énergétique
CPG	Chromatographie Phase Gazeuse
CSR	Combustibles Solides de Récupération
DCO	Demande Chimique en Oxygène
DEEP	Laboratoire Déchets, Eaux, Environnement, Pollution
DOSTE	Déchets Organiques retour au Sols Traitements et Energie
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
Idele	Institut de l'élevage
INERIS	Institut National de l'Environnement industriel et des RISques
INRA	Institut National de Recherche Agronomique
INSA	Institut National des Sciences Appliquées
LNE	Laboratoire national de métrologie et d'essais
MES	Matière En Suspension
MS	Matière Sèche
MO	Matière Organique
MOD	Matière Organique Dégradable
MTD	Meilleures Techniques Disponibles
MV	Matière Volatile
N	Azote Kjeldahl
OMR	Ordures Ménagères Résiduelles
P	Phosphore
PB	Poids Brut
PBM	Potentiel Bio-Méthanogène ou BMP : Biochemical Methane Potential
RSD	Règlement Sanitaire Départemental
SAM	Stockage Avant Méthanisation
STEP	Station d'Épuration

Table des matières

1. INTRODUCTION : LE STOCKAGE AVANT METHANISATION	7
2. CARACTERISATION DES MATIERES.....	8
2.1. ECHANTILLONNAGE.....	8
2.1.1. Définitions.....	8
2.1.2. Prescriptions générales.....	9
2.1.3. Sur matières solides.....	9
2.1.4. Sur matières liquides.....	12
2.2. CARACTERISATION DE LA MATIERE ORGANIQUE.....	13
2.2.1. Taux de MS/MV.....	14
2.2.1. Rapport C/N et C/P.....	15
2.1. MESURE DU POTENTIEL BIOMETHANOGENE - PBM.....	15
2.1.1. Protocole de mesure.....	15
2.1.2. Apport de la mesure du PBM pour l'exploitation d'un site.....	16
3. STOCKAGE DES MATIERES AVANT METHANISATION.....	18
3.1. REGLEMENTATION.....	18
3.2. PRECONISATIONS GENERALES.....	22
3.2.1. Logistique/transport.....	22
3.2.2. Réception.....	24
3.2.3. Prétraitements.....	24
3.2.4. Stockage.....	25
3.3. STOCKAGE DES MATIERES SOLIDES.....	26
3.3.1. Stockage à l'air libre / Stockage couvert.....	26
3.3.2. Ensilage pour les matières humides (< 40% MS).....	30
3.3.3. Cas particulier de l'inertage au dioxyde de carbone.....	36
3.3.4. Chaulage.....	37
3.4. STOCKAGE DES MATIERES LIQUIDES.....	37
3.4.1. Les ouvrages de stockage.....	37
3.4.2. Cas particulier du stockage du lisier.....	38
3.4.3. Autres matières liquides.....	41
4. BONNE PRATIQUES DE GESTION DES MATIERES AVANT METHANISATION	42
4.1. FICHE TECHNIQUE FUMIER : BONNES PRATIQUES DE STOCKAGE.....	43
4.2. FICHE TECHNIQUE VEGETAUX : BONNES PRATIQUES DE STOCKAGE.....	45
4.3. FICHE TECHNIQUE LISIER : BONNES PRATIQUES DE STOCKAGE.....	47
5. BIBLIOGRAPHIE	49
6. ANNEXES	51
ANNEXE 1 : LISTE DES CENTRES ET LABORATOIRES POUR L'ANALYSES DES MATIERES A METHANISER ET DES DIGESTATS	51
ANNEXE 2 : EXTRAIT DES CONCLUSIONS SUR LES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES (MTD) POUR L'ELEVAGE INTENSIF DE VOLAILLES ET DE PORCS (30).....	52

Liste des figures

Figure 1 : Illustration du prélèvement par tranchée.....	10
Figure 2 : Méthode de prélèvement sur matières solides.....	11
Figure 3 : Méthode de prélèvement sur matières liquides.....	13
Figure 4 : Composition des matières	14
Figure 5 : Composition brute de matières dédiées à la méthanisation (Source : Données internes APESA)	14
Figure 6 : Exemple de production cumulée de biogaz au cours d'un test PBM.....	16
Figure 7 : Schéma d'organisation préconisé sur les exploitations agricoles (exemple sur lisier)	23
Figure 8 : Schéma de principe du traitement d'air vicié – Source : (9)	24
Figure 9 : Schéma de principe du chargement par grappin (Source : GHSA).....	28
Figure 10 : Aire à 2 pentes successives dans le même sens avec retenue des éléments grossiers (Source : Concevoir une aire de lavage des matériels agricoles en CUMA - 2007)	28
Figure 11 : Effet de la teneur en matière sèche du fourrage récolté sur la production d'effluents tiré de (18) (L. t ¹ d'après (19)) et en (% MS récoltée, (20))	35
Figure 12 : Poche à lisier avec brasseur intégré (ABL Distribution – Albers Alligator).....	38

Liste des tableaux

Tableau 1 : Rubriques réglementaires concernées par le stockage.....	18
Tableau 2 : Pertes de potentiel méthane au cours du stockage de fumier selon différentes modalités testées in-situ	26
Tableau 3 : Valeurs de pH de stabilité de la masse du fourrage en fonction de la teneur en matière sèche (15)	35
Tableau 4 : Gamme de prix des stockages de matières liquides (travaux annexes de terrassement inclus).....	38
Tableau 5 : Recommandations des conditions de brassage pour réduire les odeurs de lisier bovin (25) (26).....	40

Liste des photographies

Photo 1 : Griffes de jardinage hélicoïdale.....	10
Photo 2 : Exemple d'une plateforme de dépotage avec traitement d'air vicié – FONROCHE Biovilleuvois (47)	24
Photo 3 : Principe du chargement des matières solides chez Méthabelair (86)	28
Photo 4 : Unité d'extrusion chez Larrère Environnement (40).....	30
Photo 5 : Stockage de CIVE ensilées en silo couloir (Allemagne)	32
Photo 6 : Couverture de silo végétalisée (Source : la France Agricole)	32
Photo 7 : Boudineuse à plantes entières ensilées (Source : Eurobagging).....	33
Photo 8 : Boudineuse à produits fins (Source : CGAO)	33
Photo 9 : Fosse circulaire chez Méthalandes (40)	37
Photo 10 : Lagune couverte chez Méthabelair.....	37
Photo 11 : Citerne souple semi enterrée en pointe de diamant inversée (Source : Labaronne-Citaf)	37
Photo 12 : Stockages en silo taupinière réalisés dans le cadre du programme OPTICIVE ...	45
Photo 13 : Citerne souple semi-enterrée en pointe de diamant inversée (Source : Labaronne-Citaf).	48

1. Introduction : le stockage avant méthanisation

Les installations de méthanisation (à la ferme ou centralisées) reçoivent généralement plusieurs flux de matières, et ce d'une manière régulière ou ponctuelle. La nature de ces déchets organiques est hautement variable :

- ils peuvent être facilement dégradables et fermentescibles, il s'agit par exemple des cultures intermédiaires, résidus d'élevage ou certains déchets agro-alimentaires,
- ils peuvent également être plus difficilement dégradables à l'exemple des résidus lignocellulosiques (*i.e* paille, canne de maïs).

La gestion de ces flux impose aux porteurs de projets, aux concepteurs d'installations, ainsi qu'aux exploitants la mise en œuvre de stratégies de stockage de courte ou moyenne durée afin de préserver la matière et son potentiel méthane.

La collecte et le transport des matières doivent être organisés pour réduire au maximum le délai entre la production et le traitement. L'introduction dans le digesteur se fera le plus rapidement possible après réception permettant de limiter (2):

- la perte de matière organique (MO) facilement biodégradable et donc le potentiel méthane. Pour le fumier, l'essentiel des pertes intervient pendant les 50 premiers jours et, pour le lisier, pendant les 30 premiers jours (1). Au-delà de ces durées, la matière a perdu près de 90% de son potentiel méthanogène ce qui nécessite de réduire au maximum la durée du stockage (1) ;
- les risques, pour les opérateurs, associés aux émissions de gaz de fermentation (NH_3 , H_2S , ...);
- les émissions pendant le stockage (odeurs, pollution de l'air...) (2);
- les volumes et surfaces de stockages (réduction des coûts) (2).

Cependant, les durées de stockage ne peuvent pas toujours être optimisées. C'est le cas en particulier des productions saisonnières de matières (certains fumiers équin, résidus de cultures, issues de céréales, menues pailles, marcs de raisins, ...) intervenant sur des périodes courtes. Elles doivent par conséquent être stockées pour alimenter le méthaniseur de manière constante.

Certaines pratiques sont alors à privilégier pour limiter les pertes et les nuisances inhérentes au stockage. Afin de maximiser la rentabilité de la future unité de méthanisation, il est important de sensibiliser à la fois les porteurs de projet et les exploitants aux techniques de stockage afin de ne pas impacter la rentabilité générale de l'unité.

Ce guide a pour objectif d'aider les concepteurs, exploitants et spécialistes d'installations de méthanisation (à la ferme ou centralisées) dans la définition de stratégies de stockage des intrants.

Il présente les bonnes pratiques de stockage selon que les intrants sont solides ou liquides et détaille les méthodes de stockage en conditions aérées ou confinées (ensilage).

En fin de guide, des fiches techniques présentent de manière synthétique les pratiques de stockage à mettre en œuvre pour les fumiers, végétaux et lisiers.

Ce guide de bonnes pratiques est réalisé dans le cadre du projet SAM (Stockage Avant Méthanisation) partenariat entre l'APESA et le laboratoire DEEP – INSA Lyon, projet accompagné par l'ADEME (Appel à projet DOSTE).

2. Caractérisation des matières

Chaque intrant dispose d'une composition biochimique qui lui est propre, intrinsèquement liée au type de matière et à la méthode de production amont. La connaissance de cette composition est essentielle pour évaluer l'évolution de la matière lors du stockage et maîtriser l'alimentation d'un digesteur.

Pour cela, il est très utile de connaître plusieurs caractéristiques de base, notamment la teneur en Matière Sèche (MS), en Matière Volatile (MV), l'azote Kjeldahl et le phosphore. Le pH et la concentration en sucres solubles seront mesurés pour évaluer la possibilité de stabiliser l'évolution de la matière pendant le stockage. Les tests de détermination du potentiel biométhane (PBM) sont également nécessaires : ils permettent d'accéder à des informations très utiles telles que la production maximale de méthane. Ils permettent ainsi de déterminer les quantités quotidiennes à introduire dans le digesteur (charge organique appliquée au système lors d'introductions) et de s'assurer du fonctionnement optimal de l'unité.

Ces mesures, dont la présentation détaillée est réalisée dans les paragraphes §2.2 et 2.3, doivent si possible être réalisées sur des matières fraîches. Il convient toutefois de coller au plus près à la stratégie de collecte qui sera mise en place réellement. Dans le cadre des projets en développement, il sera alors plus judicieux de réaliser des analyses au stade auquel une collecte est envisagée. De plus, les analyses réalisées périodiquement pendant la durée du stockage peuvent permettre de mesurer l'intérêt de techniques visant à améliorer la conservation de la matière.

Ces analyses sont indispensables (2) :

- pour tout nouvel intrant (nouvelle matière, changement de fournisseur ou de mode de stockage...),
- lorsque des dysfonctionnements de la biologie sont suspectés : diminution de la production de biogaz ou de la proportion CH_4/CO_2 , dégradation des indicateurs biologiques (phénomène d'acidose ou d'alcalose)...

Cette caractérisation des intrants passe par une première étape d'échantillonnage parfois délicate en raison de l'hétérogénéité des matières. Des préconisations sont présentées ci-après pour échantillonner les matières solides ou liquides.

2.1. Echantillonnage

La représentativité des analyses est ainsi dépendante de la qualité de l'échantillonnage.

L'échantillonnage a pour objectif de constituer un échantillon le plus représentatif possible de la matière à caractériser (lot). Le protocole d'échantillonnage doit être adapté aux caractéristiques physiques du produit (solide, liquide, pâteux, hétérogénéité), son volume, son mode de stockage et le matériel disponible pour réaliser cet échantillonnage.

2.1.1. Définitions

- **Lot** : quantité stockée dans des conditions supposées identiques et constituant une unité ayant des caractéristiques présumées uniformes. Il s'agit d'un volume représentatif de la matière à caractériser. Il peut être identifié en fonction :
 - Du mode d'élevage ou d'entretien des animaux (pour des effluents d'élevages),
 - Du mode de production (pour des déchets industriels),
 - De la période considérée,

- Du mode de stockage,
 - De tout autre paramètre pouvant avoir une influence sur l'hétérogénéité de la matière.
- **Prélèvement élémentaire** : quantité prélevée en un point du lot par un coup de griffe à trois dents ou tout autre moyen,
 - **Echantillon global** : ensemble de prélèvements élémentaires effectués sur le même lot,
 - **Echantillon final** : échantillon constitué par fractionnement de l'échantillon global. Il correspond à l'échantillon destiné aux laboratoires d'analyse.

2.1.2. Prescriptions générales

Le choix de l'identification du lot doit se faire par une personne compétente, capable d'estimer l'hétérogénéité du gisement sélectionné. Il est possible que cette hétérogénéité soit limitée, il s'agira alors de choisir le lot pour qu'il soit le plus représentatif possible de l'ensemble de la production.

A l'inverse, si cette hétérogénéité est importante, l'ensemble du gisement devra être échantillonné.

Différentes étapes sont à réaliser pour cet échantillonnage :

- **Contactez le laboratoire d'analyse pour connaître le volume d'échantillon nécessaire en fonction des analyses à réaliser.** Une liste des laboratoires proposant des analyses de matières entrantes ou de digestats est présentée en **Annexe 1**,
- Préparer le matériel de prélèvement et les contenants destinés à recevoir les échantillons (flacons ou poches hermétiques selon le type de matière). Ils doivent être propres et secs,
- Prélever les échantillons en suivant les bonnes pratiques d'échantillonnage présentées ci-après,
- Etiqueter chaque contenant,
- Conserver les échantillons au froid (4°C) jusqu'à l'envoi (qui doit se faire rapidement),
- Envoyer les échantillons dans une glacière avec des blocs froids (pas de glaçons) en transport rapide (<24 h).

Les bonnes pratiques de prélèvement et d'échantillonnage sont détaillées ci-après pour les échantillons solides et liquides.

2.1.3. Sur matières solides

Dans un premier temps, il s'agit d'effectuer un échantillon global pour chaque lot. L'échantillonnage se fera en réalisant des tranchées de prélèvement dans les tas de matières stockées. Si ce mode de prélèvement n'est pas possible, un protocole de prélèvement par forage dans le tas peut être mis en place.

Les 20 premiers cm en surface ne doivent pas être prélevés afin de ne pas échantillonner une matière potentiellement lixiviée par la pluie ou moisie sous une bâche d'ensilage.

■ **Prélèvement par tranchées**

Il faut en premier lieu quantifier le volume du stock de produit (généralement il s'agit d'un tas plus ou moins haut et long) et déterminer l'emplacement des tranchées de prélèvement. Le prélèvement va consister à ouvrir le tas sur toute la hauteur et jusqu'au centre du tas. Une tranchée sera réalisée dans le tas tous les 5 à 6 mètres selon la longueur du tas (Figure 1).

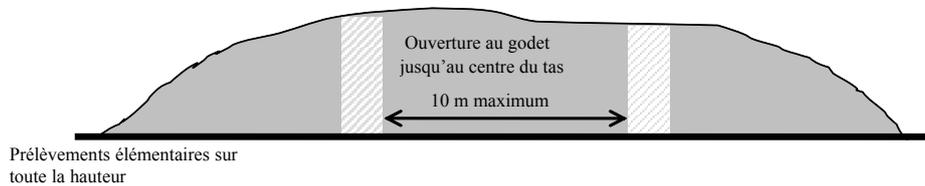


Figure 1 : Illustration du prélèvement par tranchée

Au niveau de chaque front de tranchée, des prélèvements d'environ 1L sont ensuite réalisés sur toute la hauteur de la tranchée. Ils peuvent être effectués à l'aide d'une griffe à dents. L'ensemble des prélèvements est déposé dans un récipient de 100 litres (type poubelle) ou sur une bâche plastique afin de constituer un échantillon global d'environ 50 litres. L'échantillon final sera réalisé par fractionnement de l'échantillon global selon la méthodologie présentée ci-après.

■ **Prélèvement par forage**

Des tarières de prélèvement conçues spécialement pour le prélèvement de matières organiques solides (compost, tourbe, fumier...) sont disponibles dans le commerce. Elles ne sont pas toujours adaptées en particulier pour l'échantillonnage de matières très compactes de type fumier ou matières végétales.

Dans ce cas, une griffe de jardinage hélicoïdale peut permettre de réaliser ces prélèvements.



Photo 1 : Griffe de jardinage hélicoïdale

Les prélèvements doivent se faire à différentes hauteurs du tas (au moins 3) et à différents endroits du tas (idéalement 10). Les prélèvements sont déposés dans un récipient de 50 litres (type poubelle) ou sur une bâche plastique afin de constituer un échantillon global d'environ 30 litres. L'échantillon final sera réalisé par fractionnement de l'échantillon global selon la méthodologie présentée ci-après.

Constitution de l'échantillon final par fractionnement (Matières solides)

L'échantillon global donnera lieu, après réduction par quartage à l'obtention de l'échantillon final qui sera envoyé au laboratoire pour analyse. Le schéma suivant illustre la démarche à mettre en œuvre (Figure 2).

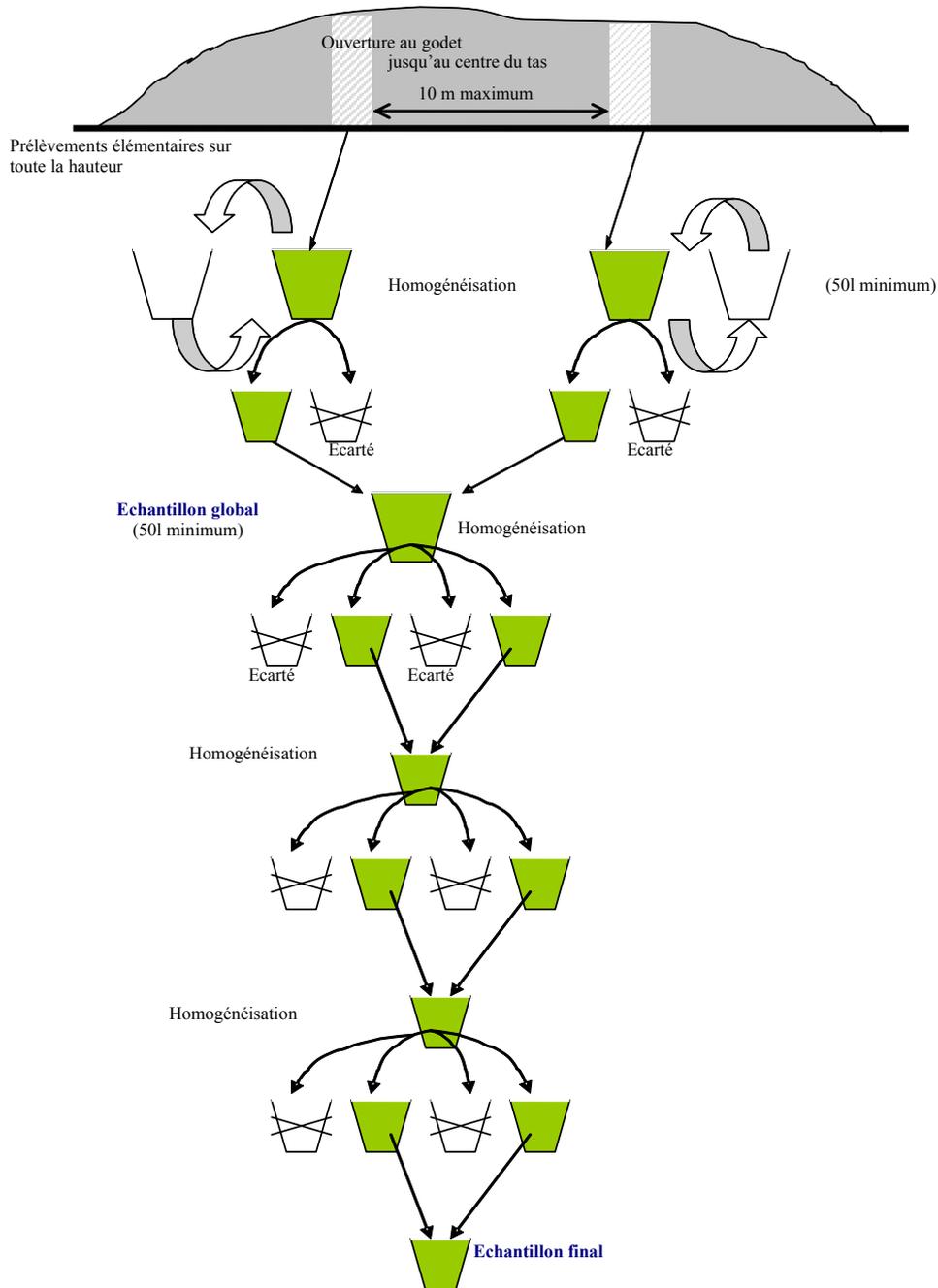


Figure 2 : Méthode de prélèvement sur matières solides

2.1.4. Sur matières liquides

L'échantillonnage de matières liquides doit être précédé d'une période de brassage suffisante pour éviter les phénomènes de séparation de phases (par décantation) et garantir l'obtention d'un échantillon représentatif. Cette opération peut durer plusieurs heures pour favoriser l'homogénéité du mélange à prélever. Les méthodes de prélèvement sont multiples et dépendent du type de stockage à échantillonner.

En fosses circulaires ou en lagunes, le prélèvement à l'aide d'une canne est conseillé. Son utilisation permet d'aller chercher la matière loin des bordures de fosses ou le brassage peut engendrer des concentrations en MS légèrement supérieures.

Dans l'idéal, une dizaine de prélèvements de volume équivalent sont réalisés à différents endroits du stockage et en particulier à différentes hauteurs pour constituer l'échantillon global (50 litres idéalement).

Si l'installation de stockage dispose d'un robinet en aval de la pompe de reprise, il peut être indiqué de réaliser l'échantillonnage à ce niveau en particulier lorsque l'accès à la matière est trop compliqué ou en absence de canne de prélèvement. Il conviendra alors d'attendre suffisamment longtemps après l'ouverture du robinet pour ne pas prélever un échantillon qui a stagné dans la tuyauterie mais un échantillon représentatif de la fosse (tout en gardant des conditions de brassage à l'intérieur de la fosse). Les premiers litres prélevés pourraient contenir des excès de matières particulières piégées dans le piquage et des matières déjà dégradées.

Constitution de l'échantillon final par fractionnement (Matières liquides)

L'échantillon global donnera lieu, après réduction par quartage à l'obtention de l'échantillon final qui sera envoyé au laboratoire pour analyse. Le schéma suivant illustre la démarche à mettre en œuvre (Figure 3).

Schéma de principe de l'échantillonnage d'un lot représentatif

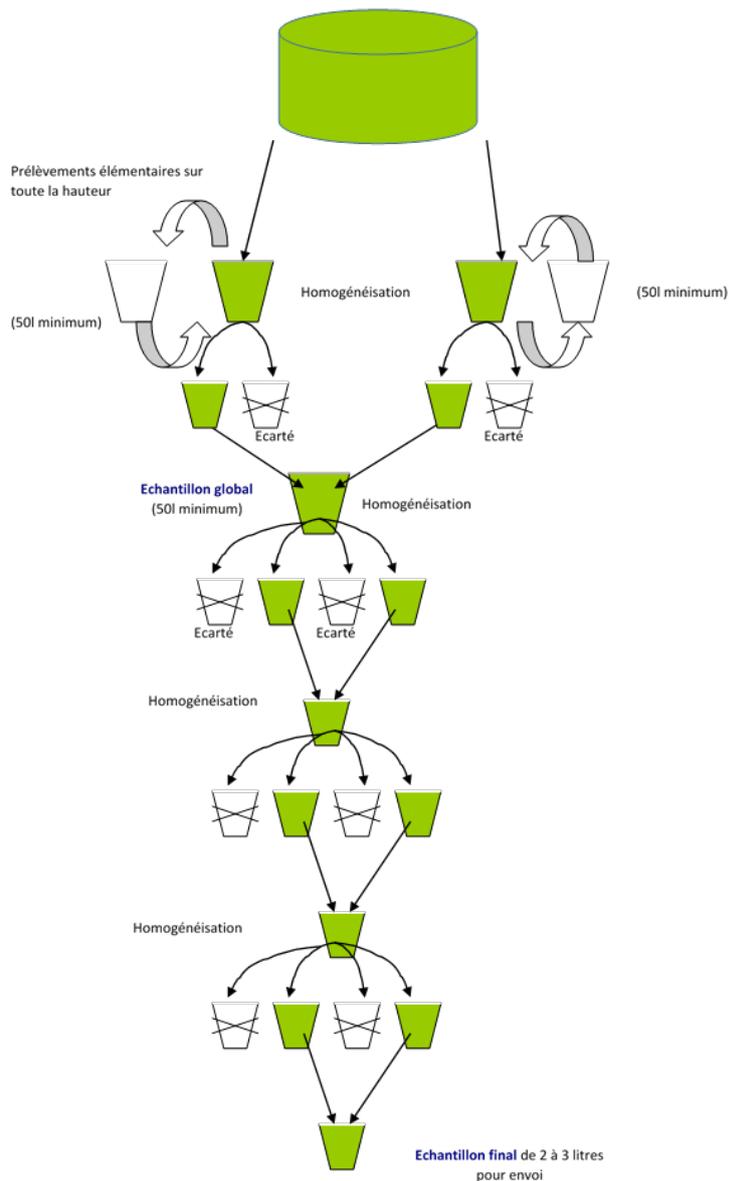


Figure 3 : Méthode de prélèvement sur matières liquides

2.2. Caractérisation de la matière organique

Les analyses les plus couramment réalisées sur les intrants comprennent la MS, MV, l'azote Kjeldahl et le phosphore. Elles sont développées dans les §2.2.1 et 2.2.2..

En fonction du contexte du site et des caractéristiques des gisements traités par méthanisation, d'autres analyses peuvent être réalisées:

- pH : l'acidité initiale de la matière à stocker est un facteur favorable à la conservation de la matière organique,
- Sucres solubles : la présence de sucres solubles contribue à l'acidification de la matière organique, condition favorable à l'ensilage de biomasses,
- Soufre qui est un indicateur de la production potentielle d'H₂S au cours de la dégradation.

A noter que d'autres paramètres sont nécessaires à l'exemple des métaux pour l'évaluation de la composition du digestat. Ils ne sont pas abordés dans ce guide dédié au stockage de la matière.

2.2.1. Taux de MS/MV

La matière est constituée d'eau et de MS, elle-même constituée de MV et de Matière Minérale (MM).

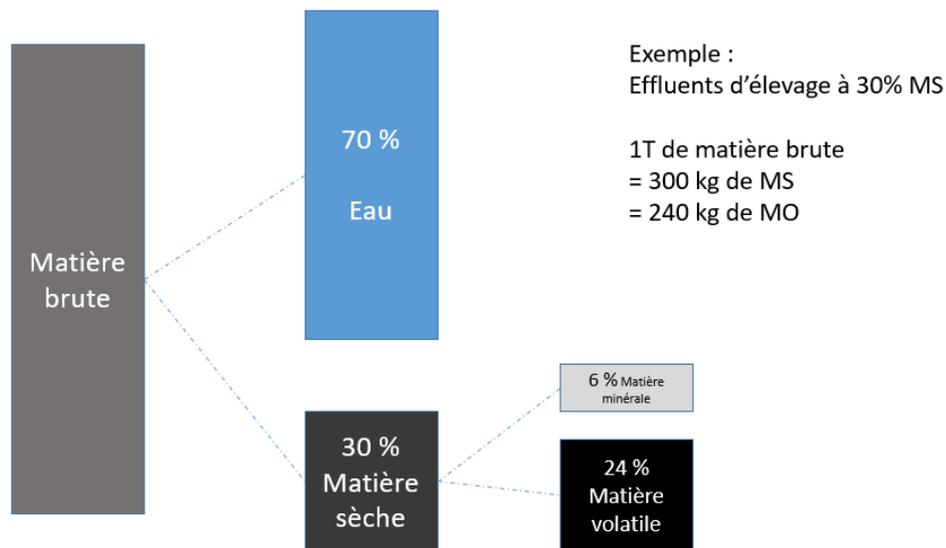


Figure 4 :Composition des matières

La MS est déterminée par séchage à 105°C et la MV par calcination à 550°C (perte au feu). Dans le cas de produits organiques ne contenant pas de plastiques ou de composés organiques de synthèse, il est couramment admis que la MV est équivalente à la Matière Organique (MO).

La Figure 5 présente la répartition des taux de MV, MM et eau pour différents substrats agricoles.

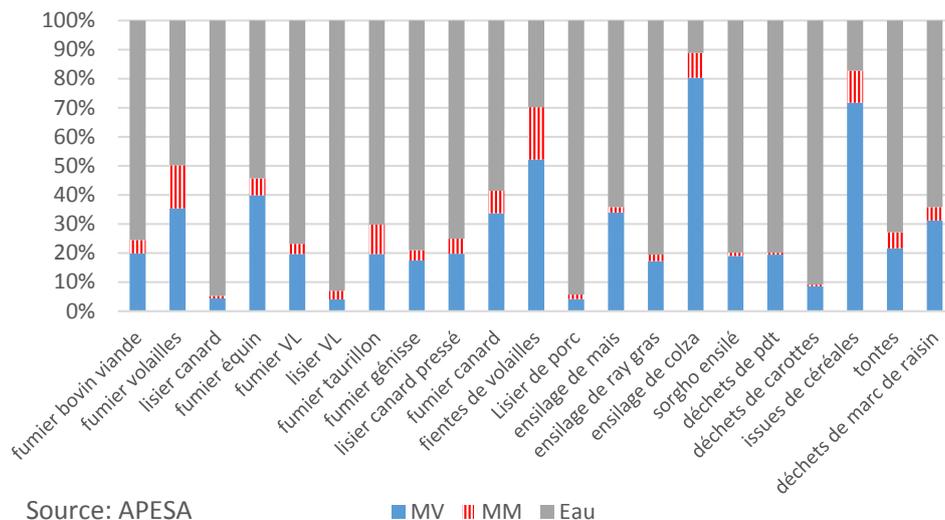


Figure 5 : Composition brute de matières dédiées à la méthanisation (Source : Données internes APESA)

Cette figure illustre la variabilité de composition des matières entrantes en méthanisation. Le passage par l'analyse physico-chimique est par conséquent indispensable pour les caractériser.

La mesure des taux de MS et de MV permet d'évaluer la concentration en matière organique des différents intrants et son évolution au cours du stockage. Ces informations sont aussi nécessaires pour préparer le mélange d'introduction du digesteur (ration). Elles permettent par ailleurs de sélectionner judicieusement le matériel de transfert des matières entrantes et de se projeter sur les volumes de digestats à recirculer en tête de procédé.

Pour les effluents liquides peu chargés (contenant moins de 1% de MS), la mesure de MS/MV sera remplacée par la mesure de Matière En Suspension (MES) et la Demande Chimique en Oxygène (DCO).

2.2.1. Rapport C/N et C/P

Le rapport carbone organique sur azote Kjeldahl dit rapport C/N indique la proportion de carbone organique par rapport à l'azote total de la matière organique. Il peut être un indicateur pertinent de la biodégradabilité de la matière organique. Le carbone organique est estimé comme la teneur en MO/2. Il est exprimé en g/kg de produit sec et/ou de produit brut. Plus le rapport C/N d'un produit est élevé, plus il se dégrade lentement (3).

Ce rapport C/N est utile pour évaluer la biodégradabilité de la matière lors de son stockage mais aussi lors de son traitement en méthanisation. Un rapport C/N compris entre 15 et 30 est généralement adapté pour la digestion anaérobie (4).

Un rapport plus élevé entraîne une consommation rapide de l'azote et le carbone est difficilement biodégradé. A l'inverse, un rapport plus faible peut conduire à une accumulation d'ammoniac. Sa présence doit être contrôlée du fait qu'il présente un caractère inhibiteur pour les micro-organismes anaérobies au-delà de quelques grammes par litre principalement lié à la forme libre NH_3 (5).

Le phosphore est aussi un élément nutritionnel indispensable au bon fonctionnement de la méthanisation; un rapport optimal C/P de 150/1 est généralement admis (6).

2.1. Mesure du Potentiel BioMéthanoène - PBM

2.1.1. Protocole de mesure

Le test de potentiel biométhane permet de déterminer, en condition optimale (pH, T°C, ratio substrat/inoculum...), la production maximale de biogaz et de méthane qui peut être attendue à l'issue de la méthanisation d'un substrat. Il est applicable sur tout type de matière, liquide ou solide : effluents d'élevages (lisiers, fientes, fumiers...), déchets agroalimentaires (résidus lignocellulosiques, graisses, boues ...), déchets de collectivités (bidéchets, boues de STEP...), Cultures Intermédiaires à Vocation Energétique (CIVEs : plante entière, ensilage, foin...) ainsi que tout autre résidu ou sous-produit organique.

Le biogaz produit au cours du test est quantifié (mesure manométrique ou volumétrique) pour mesurer la production de biogaz au cours du temps. La composition du biogaz est déterminée généralement par analyse du méthane (CH_4), du dioxyde de carbone (CO_2) et de l'hydrogène sulfuré (H_2S) soit par détecteur IR ou par chromatographie en phase gazeuse (CPG). La

production de méthane est calculée à partir du suivi de la production de biogaz et l'analyse de sa composition.

Le mode opératoire est le suivant : l'échantillon (substrat) est mis en contact avec un inoculum anaérobie appauvri contenant une flore bactérienne anaérobie. Une complémentation avec une solution nutritive et/ou tamponnée peut être nécessaire en fonction de la nature de l'inoculum utilisé. Fermés hermétiquement, les réacteurs d'essais sont maintenus à 35-38°C (conditions mésophiles) ou 50-55°C (conditions thermophiles) pendant toute la durée de l'essai. Des réacteurs témoins (blancs), ne contenant pas de substrat, sont utilisés en parallèle afin de déduire de la production globale, la production de biogaz de l'inoculum utilisé pendant l'essai.

L'essai de fermentation se poursuit jusqu'à l'arrêt de la production de biogaz ce qui peut nécessiter de 2 à 5 semaines voire plus selon le type de matière et sa biodégradabilité. Les résultats sont exprimés en volume de méthane par unité de masse de substrat exprimée en produit brut, matière organique ou DCO (pour les effluents liquides peu chargés).

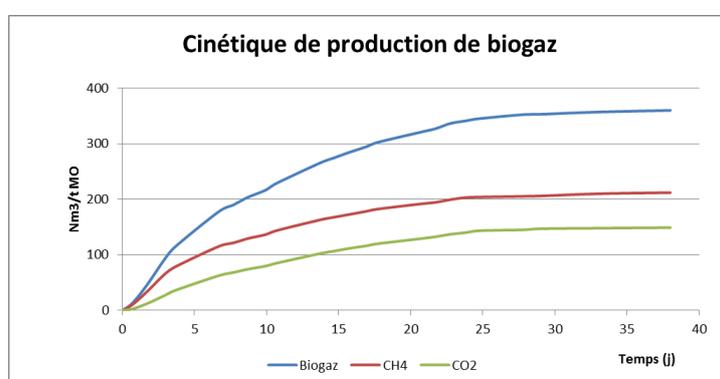


Figure 6 : Exemple de production cumulée de biogaz au cours d'un test PBM

Le test PBM permet notamment de connaître :

- le volume de biogaz produit par unité de volume / masse ;
- sa concentration en CH₄ ;
- le volume de méthane produit par unité de volume / masse ;
- le taux de biodégradation de la matière organique, dans la mesure où la DCO de l'échantillon a été préalablement déterminée (1 g de DCO dégradée correspond à la production de 0,35 L de méthane).

2.1.2. Apport de la mesure du PBM pour l'exploitation d'un site

Selon le substrat et les conditions de stockage notamment, la quantité totale de méthane produit peut varier en fonction de :

- la teneur en MO du produit testé, intrinsèquement liée à sa teneur en MS,
- la composition biochimique de la MO (lignine, cellulose, hémicelluloses, composés organiques solubles dont les sucres) qui évolue plus ou moins rapidement selon sa biodégradabilité. Des substrats riches en fibres auront plus de mal à se dégrader que des substrats riches en composés solubles. De plus, la lignine du fait de ses propriétés présente un caractère récalcitrant à la dégradation par digestion anaérobie.

Des substrats de même nature peuvent présenter des valeurs de potentiel méthane très différentes. C'est par exemple le cas des fumiers et des lisiers dont les caractéristiques varient

en fonction de leur origine ainsi que de la période d'analyse. Les valeurs bibliographiques de données PBM ne suffisent donc pas, la réalisation du test est nécessaire pour connaître le potentiel méthane réel d'un substrat.

La production de biogaz (quantité et qualité) attendue sur une unité de méthanisation peut être évaluée à partir de ces tests réalisés pour chaque matière constitutive de la ration du digesteur. Cette évaluation est primordiale au niveau de :

- l'étude de faisabilité d'un projet pour consolider l'analyse de risque tant d'un point de vue technique que financier,
- l'exploitation d'un méthaniseur pour préparer les rations et évaluer l'impact d'un nouvel intrant. Les tests PBM permettent d'évaluer la production maximale théorique de biogaz. Ils peuvent ainsi permettre d'évaluer les performances du méthaniseur par rapport à cette production maximale.

En exploitation, les productions de CH₄ attendues sont bien souvent au rendez-vous (en voies continues tout du moins), on peut toutefois émettre quelques réserves sur les teneurs en CH₄. En effet, les teneurs en CH₄ du biogaz produit en phase d'exploitation sont bien souvent inférieures aux données issues des mesures de PBM.

Les cinétiques de dégradation de la MO mesurées en test PBM peuvent aussi différer de celles mesurées en exploitation. Les cinétiques sont en effet directement corrélées à la nature de l'inoculum et au ratio échantillon/Inoculum appliqué pendant le test PBM. Le résultat obtenu sera toutefois un indicateur utile pour comparer divers substrats ainsi que l'impact potentiel d'une étape de prétraitement. Il est toutefois important de réaliser les tests PBM sur une même série avec le même inoculum pour pouvoir comparer les cinétiques entre elles. La cinétique de dégradation des matières est un paramètre important pour lisser la production de biogaz, en particulier pour les intrants ponctuels.

Prolonger les mesures de PBM par des essais pilotes

Si la mesure du PBM reste une bonne indication du potentiel de production de méthane d'un gisement organique, et donc utile aux futures performances des unités, seuls des tests en réacteurs pilotes permettent de simuler les conditions réelles de fonctionnement d'un projet en amont de l'investissement. Ces tests sont très fortement recommandés pour des substrats peu connus mais aussi pour des technologies de méthaniseurs émergentes (méthanisation en voie sèche continu, discontinu). Les pilotes présentent généralement un volume utile compris entre 5 et 20 L et fonctionnent en continu ou semi-continu.

Les essais en réacteurs pilotes permettent d'obtenir des informations non accessibles à l'échelle des PBM, comme par exemple :

- la quantité de MO dégradée (MOD) en digestion continue,
- les charges organiques supportables pour une ration donnée,
- l'impact éventuel d'inhibiteurs dû à la ration d'entrée,
- l'opérabilité de la technologie qui sera utilisée et de sa complexité notamment dans le cadre des unités en voie sèche.

De plus, le digestat peut-être produit en quantité suffisante pour permettre des analyses agronomiques (i.e valeur fertilisante et amendante), sanitaires (métaux, pathogènes...) et des tests de croissance et ou de phytotoxicité en condition contrôlée.

3. Stockage des matières avant méthanisation

3.1. Réglementation

Les installations de méthanisation sont des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement et sont donc soumises aux règles ICPE. Le régime de classement (par ordre croissant : Déclaration, Enregistrement, Autorisation) est défini en fonction du seuil indiqué dans la nomenclature des installations classées.

Les prescriptions relatives à la réception et au stockage des matières sur les sites producteurs ou sur l'unité de méthanisation sont, selon les cas, consignées dans :

- Le Règlement Sanitaire Départemental (RSD),
- Les arrêtés ministériels de prescriptions générales des rubriques ICPE auxquelles l'installation est soumise.
- Les arrêtés préfectoraux d'autorisation (uniquement pour les ICPE à autorisation. Il peut prévoir des dispositions particulières au regard de la sensibilité du site)

Les règles qui régissent la réception de matières sont bien évidemment fonction du type de matières/déchets concernés et des indésirables éventuellement contenus. En l'occurrence, nous nous concentrerons sur les règles en lien avec la biomasse.

Parmi les nomenclatures concernées, les catégories suivantes sont en lien avec le stockage et le traitement de matières en amont / aval (Tableau 1).

Tableau 1 : Rubriques réglementaires concernées par le stockage

Poste	Matières / Activités concernées	Source de la prescription	Articles / Rubriques
Stockage	Fumiers et solides (ensilage)	RSD	Art. 155
Stockage	Lisiers, jus d'ensilage, eaux lavages	RSD	Art. 156
Stockage	Silos destinés à la conservation par voie humide des aliments pour animaux	RSD	Art. 157
Stockage	Digestat	RSD	Art. 158
Stockage	Céréales, grains ou produits organiques dégageant des poussières inflammables	ICPE	2 160
Stockage	Fumiers, engrais si unité non annexée à un exploitation agricole	ICPE	2 171
Stockage	Dépôt ou transit de sous-produits animaux	ICPE	2 731
Stockage / transit	Déchets non dangereux non inertes	ICPE	2 716
Prétraitement	Appareils de préparation des matières et d'affinage des produits finis	ICPE	2 260
Unité de méthanisation dans son ensemble y compris les stockages	Installation de méthanisation	ICPE	2 781
Méthanisation	Valorisation de déchets non dangereux non inertes	ICPE	3 532
Cogénération	Si le biogaz est valorisé en cogénération	ICPE	2 910
Administratif	Sous-produits animaux	Agrément Sanitaire	Demande

Les réglementations applicables au stockage de matières entrantes concernent en particulier les lieux d'implantation de l'aire ou des équipements de stockage. Les réglementations diffèrent selon que les stockages sont positionnés sur les sites des producteurs de matières ou sur le site même de l'unité de méthanisation.

① Stockage des matières sur les sites producteurs de matières : cas des activités d'élevage et autres activités agricoles

La réglementation applicable dépend du type et de la taille de l'élevage. Il s'agit soit du RSD soit de la réglementation ICPE :

■ Activité soumise au règlement sanitaire départemental (7)

- Pour le fumier et les autres déjections solides : l'article 155 du règlement sanitaire départemental type précise les distances d'implantation des zones de stockage :
 - 35 m des sources, puits, forages et captages d'eau,
 - 50 m des immeubles habités, des zones de loisir ou des équipements recevant du public pour les aires de stockage permanentes et temporaires,

Tout dépôt situé sur ou à proximité immédiate des voies de communication est interdit.

Des prescriptions techniques sont aussi précisées. Les fumiers sont déposés sur une aire étanche, munie au moins d'un point bas, où sont collectés des liquides d'égouttage et les eaux pluviales qui doivent être dirigées, à l'aide de canalisations étanches et régulièrement entretenues, vers des installations de stockage étanches ou de traitement des effluents d'élevage.

- Pour les lisiers, purins, jus d'ensilage et eaux de lavage : l'article 156 du règlement sanitaire départemental type précise les distances d'implantation des zones de stockage. Elles sont identiques à celles appliquées pour le fumier.
Si l'ouvrage est couvert par une dalle, elle doit comporter un regard qui sera obturé dans l'intervalle des vidanges et un dispositif de ventilation.
Dans le cas d'une fosse ouverte à l'air libre, elle doit être équipée d'un dispositif protecteur à prévenir tout risque d'accident.

Ces obligations tirées du RSD type peuvent différer pour chaque département.

■ Élevages, lieu de transit ou de vente de bovins (rubrique 2101), de porcs (rubrique 2102), de volailles (rubrique 2111) ou les élevages intensifs de volailles et de procs (rubrique 3660) visés par la réglementation ICPE sous le régime de la déclaration, de l'enregistrement et de l'autorisation : activités soumises aux arrêtés du 27 décembre 2013

Quel que soit le régime concerné, les distances à respecter pour l'implantation des bâtiments sont identiques. Ils doivent être situés à une distance minimale de :

- 100 m des habitations ou locaux habituellement occupés par des tiers, des stades ou des terrains de camping agréés ainsi que des zones destinées à l'habitation par des documents d'urbanisme opposables aux tiers ;
 - cette distance est réduite à 50 m lorsqu'il s'agit de bâtiments mobiles d'élevage de volailles faisant l'objet d'un déplacement d'au moins 100 mètres à chaque bande ;
 - cette distance peut être réduite à 50 m lorsqu'il s'agit de bâtiments d'élevage de bovins sur litière accumulée
 - 25 m lorsqu'il s'agit d'une installation située en zone de montagne ;
 - 15 m lorsqu'il s'agit d'équipements de stockage de paille et de fourrage ; toute disposition est alors prise pour prévenir le risque d'incendie ;
- 35 m des puits et forages, des sources, des aqueducs en écoulement libre, de toute installation souterraine ou semi-enterrée utilisée pour le stockage des eaux, que les eaux soient destinées à l'alimentation en eau potable ou à l'arrosage des cultures maraîchères, des rivages, des berges des cours d'eau ;

- 200 m des lieux de baignade déclarés et des plages, à l'exception des piscines privées
- 500 m en amont des zones conchylicoles, sauf dérogation liée à la topographie, à la circulation des eaux et prévue par l'arrêté préfectoral d'autorisation ;
- 50 m des berges des cours d'eau alimentant une pisciculture, sur un linéaire d'un kilomètre le long de ces cours d'eau en amont d'une pisciculture, à l'exclusion des étangs empoisonnés où l'élevage est extensif sans nourrissage ou avec apport de nourriture exceptionnel.

En cas de nécessité et en l'absence de solution technique propre à garantir la commodité du voisinage et la protection des eaux, les distances fixées peuvent être augmentées.

Les stockages des effluents sont imperméables et maintenus en parfait état d'étanchéité. La pente des sols des bâtiments d'élevage ou des annexes est conçue pour permettre l'écoulement des effluents d'élevage vers les équipements de stockage ou de traitement.

Hors zone vulnérable aux pollutions par les nitrates, lorsqu'un élevage de volailles dispose d'un procédé de séchage permettant d'obtenir de façon fiable et régulière des fientes comportant plus de 65 % de matière sèche, le stockage de ces fientes, couvertes par une bâche imperméable à l'eau mais perméable aux gaz, peut être effectué sur une parcelle d'épandage dans des conditions précisées par le préfet et figurant dans l'arrêté d'autorisation de l'élevage.

② Stockage des matières sur les unités de méthanisation : Activité soumise à la rubrique 2781

Les arrêtés de déclaration du 10/11/09, enregistrement du 12/08/10 et autorisation du 10/11/09 précisent les dispositions applicables pour la réception et le stockage des matières entrantes. Elles concernent notamment la limitation des nuisances olfactives, la prévention des dégâts environnementaux, ainsi que leur enregistrement.

Ainsi, sans préjudice des règlements d'urbanisme, les lieux d'implantation de l'aire ou des équipements de stockage des matières entrantes et des digestats satisfont les dispositions suivantes :

- ils ne sont pas situés dans le périmètre de protection rapprochée d'un captage d'eau destinée à la consommation humaine ;
- ils sont distants d'au moins 35 mètres des puits et forages de captage d'eau extérieurs au site, des sources, des aqueducs en écoulement libre, des rivages et des berges des cours d'eau, de toute installation souterraine ou semi-enterrée utilisée pour le stockage des eaux destinées à l'alimentation en eau potable, à des industries agroalimentaires, ou à l'arrosage des cultures maraîchères ou hydroponiques; la distance de 35 mètres des rivages et des berges des cours d'eau peut toutefois être réduite en cas de transport par voie d'eau.

Quel que soit le régime concerné, des mesures identiques pour limiter des nuisances sont indiquées dans les arrêtés applicables aux installations classées de méthanisation soumises à déclaration, enregistrement ou autorisation.

- L'installation est conçue, équipée, construite et exploitée de manière à ce que les émissions de toutes natures soient aussi réduites que possible, et cela tant au niveau de la réception, de l'entreposage et du traitement des matières entrantes qu'à celui du stockage et du traitement du digestat et de la valorisation du biogaz.

A cet effet : Si le délai de traitement des matières, autres que des végétaux ensilés, susceptibles de générer des nuisances à la livraison ou lors de leur entreposage est supérieur à vingt-quatre heures, l'exploitant met en place les moyens d'entreposage

adaptés pour confiner et traiter les émissions. Ces moyens sont décrits dans le dossier de demande d'autorisation et prescrits, voire complétés, par l'arrêté préfectoral. Lors de l'admission de telles matières, leur déchargement se fait au moyen d'un dispositif qui isole celles-ci de l'extérieur ou par tout autre moyen équivalent.

- Les matières et effluents à traiter sont déchargés dès leur arrivée dans un dispositif de stockage étanche, conçu pour éviter tout écoulement incontrôlé d'effluents liquides.
- La zone de déchargement est équipée des moyens permettant d'éviter tout envol de matières et de poussières à l'extérieur du site de l'installation.

Notons aussi (pour les exploitations agricoles) que si la capacité de stockage d'effluents d'élevages est réglementée dans le cadre d'une activité d'élevage (de sorte que les ouvrages permettent à minima leur stockage sur une période donnée), l'adhésion de cette même entité à un projet de méthanisation porté par un tiers lui permet de s'affranchir de ces exigences réglementaires. En effet, la mise aux normes exigible au niveau de l'élevage n'est réglementairement pas imposable dans la mesure où cet effluent est externalisé.

■ Activité nécessitant un agrément sanitaire au titre de l'article 24 du règlement N°1069/2009

On peut rappeler que pour les activités de méthanisation, toute utilisation de sous-produits animaux (lisier endogène inclus) nécessite un agrément même si aucune obligation de transformation n'est imposée (cas du lisier), conformément à l'article 24.1.g du règlement CE n°1069/2009 (8).

L'Agrément Sanitaire permet de définir les procédures à mettre en œuvre dès réception (par exemple : hygiénisation sous 24 heures).

Les sous-produits sont classés en 3 catégories, pour lesquelles des règles d'élimination et de valorisation doivent être respectées (articles 7 à 10 du règlement n°1069/2009) :

- Les matières de catégorie 1 (C1) présentent le risque le plus élevé pour la santé humaine et animale, notamment le risque d'ESST (Encéphalopathie Spongiforme Subaiguë Transmissible). Cette catégorie vise en particulier les cadavres de ruminants et d'animaux familiers et les matériels à risque spécifiés (MRS). Le règlement (CE) n°1069/2009 (article 12) imposent la destruction de ces matières.
- Les matières de catégorie 2 (C2) présentent un risque pour la santé animale ; il s'agit notamment des cadavres de monogastriques d'élevage et des lisiers. Ces sous-produits peuvent être valorisés en vue de certaines utilisations autres que l'alimentation des animaux après traitements stérilisants (sauf dérogation).
- Les matières de catégorie 3 (C3) ne présentent pas de risque sanitaire et comprennent notamment des parties d'animaux abattus propres à la consommation humaine. Ces sous-produits peuvent être valorisés en alimentation animale et pour des usages techniques. Elles comprennent aussi dans le règlement n°1069/2009, les déchets de cuisine et de table destinés à produire du compost ou du biogaz.

Ainsi, les matières de catégorie 1 ne peuvent être ni compostées ni méthanisées.

La grande majorité des matières de catégorie 2 peut faire l'objet d'un compostage ou d'une méthanisation si elles ont subi une stérilisation à 133°C pendant 20 minutes.

Pour les matières de catégorie 2 suivantes : le lisier, le fumier, le contenu de l'appareil digestif, le lait et les produits à base de lait, des traitements spécifiques plus simples peuvent être employés dès lors que l'administration a donné son accord. Dans certains cas (mélange lisier/fumier/végétaux uniquement), l'autorisation d'introduire des sous-produits animaux dans un méthaniseur/composteur sans prétraitement peut être obtenue auprès de la direction départementale pour la protection de population (DDPP). Ces dérogations dépendent des caractéristiques sanitaires de la zone, des modalités de retour au sol du digestat/compost, etc.

Sauf dérogation, les matières de catégorie 3 peuvent être méthanisées après avoir subi une étape d'hygiénisation à 70°C pendant 60 minutes ou compostées dans des réacteurs fermés. Certaines matières C3 comme les déchets de cuisine et de table peuvent bénéficier de conditions particulières. D'autres matières comme le lait, les produits à base de lait, les produits dérivés du lait, le colostrum, les produits à base de colostrum de catégorie C3 peuvent être exonérés d'hygiénisation pour la méthanisation ou être traitées en composteur non fermé sur accord de l'autorité compétente (voir annexe V du règlement n°142/2011).

En méthanisation, en cas de mélange de sous-produits, des règles particulières s'appliquent à l'ensemble du mélange. Aussi en cas de mélange de produits C3 et de lisier ou de fumier, il sera en principe demandé d'hygiéniser les C3 et le lisier/fumier.

Dans tous les cas, un agrément sanitaire doit être obtenu avant le démarrage de l'activité de traitement de sous-produits animaux.

3.2. Préconisations générales

Ce guide identifie les bonnes pratiques de stockage de gisements de biomasses potentiellement biodégradables et susceptibles d'évoluer rapidement si les conditions de stockage ne sont pas contrôlées. D'une manière générale, si le gisement est riche en matière organique fermentescible et que le taux d'humidité est élevé, un stockage en contact direct avec l'air conduira forcément à une perte significative de la matière organique et du potentiel biométhanogène de la ressource. Par conséquent, le contact avec l'air et la teneur en humidité sont les principaux paramètres à maîtriser dans la perspective de l'optimisation du stockage. Les gisements de biomasse peuvent être solides ou liquides, plus ou moins riches en MO fermentescibles, et susceptibles d'induire des nuisances environnementales (gaz à effet de serre et production de lixiviats chargés en MO solubles) et des nuisances sanitaires liées aux émissions toxiques (H₂S et NH₃) dont il faudra tenir compte pour la conception des stockages.

3.2.1. Logistique/transport

Il n'y a pas de règles en matière de logistique. Chaque projet est différent et a ses propres particularités qui font que, parfois, les matières sont produites et traitées sur le même site et, dans d'autres cas, importées. Les préconisations ci-dessous ne peuvent être systématiquement mises en œuvre mais dans le cas de projets où des agriculteurs sont associés pour fournir des produits et reprendre des digestats, une réflexion en ce sens doit être menée pour favoriser la rentabilité et l'acceptation du projet.

En effet, ces réflexions permettent de limiter les temps de stockage (source de nuisances olfactives) et le nombre de camions chargés de véhiculer les matières entrantes/sortantes (parfois source de nuisances olfactives et sonores vis à vis des riverains).

Les producteurs d'effluents entrants en méthanisation doivent être sensibilisés pour que la logistique aval soit organisée en adéquation. Cette logistique permet également de limiter les

immobilisations / frais de fonctionnement des fournisseurs de matières (volume du stock et durée de stockage limités).

Sur une exploitation agricole, dans le cas d'effluents d'élevages où des ouvrages de stockage de volumes importants existent (fosses ou fumières), il peut être judicieux d'employer ces ouvrages pour stocker les digestats. Une couverture est alors recommandée pour limiter les émissions. De nouveaux ouvrages si possible couverts et de taille plus adaptée seront construits pour collecter les effluents frais et permettre de réduire la durée du stockage (Figure 7).

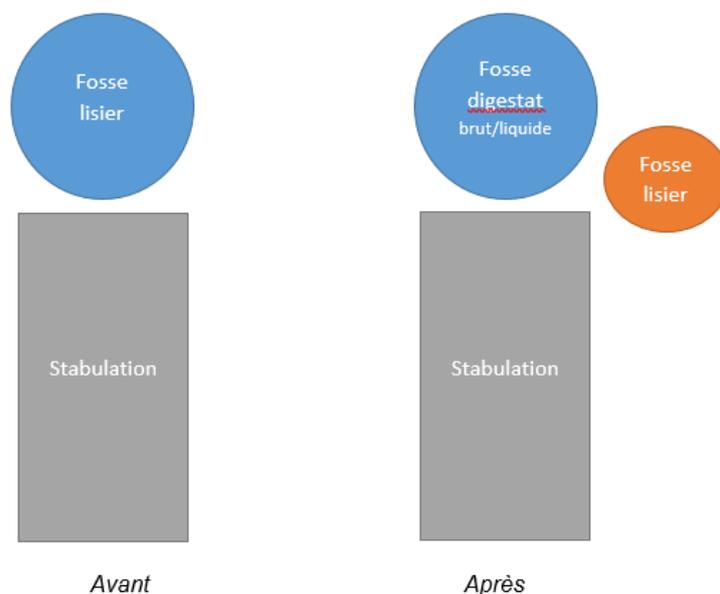


Figure 7 : Schéma d'organisation préconisé sur les exploitations agricoles (exemple sur lisier)

Cette organisation permet d'une part :

- De limiter l'incorporation d'eau dans les fosses de matières liquides/pâteuses fraîches,
- De traiter les effluents frais en flux tendus (du fait des volumes de fosse limités) et donc de maximiser l'énergie produite,
- D'effectuer les transports systématiquement à plein en véhiculant du digestat à l'aller et du lisier/fumier au retour,
- De limiter les investissements en ouvrages de stockage sur l'unité de méthanisation.

A noter que pour des unités traitant des matières exogènes présentant un risque sanitaire, des contraintes particulières de stockage peuvent être exigées par les autorités départementales pour éviter une contamination croisée entrant/digestat.

Les moyens de transport utilisés sont généralement composés d'ensembles routiers ou agricoles. Le transport des liquides est réalisé en citerne / tonne à lisier, alors que le transport de solides peut être réalisé en semi-remorque/bennes ampli roll ou autre caisses à boîtes étanches. Selon le chemin à parcourir, les chargements doivent être bâchés pour limiter les nuisances sur la voie publique.

Pour les élevages de canard, des mesures de biosécurité doivent être appliquées pour le transport. Sont en particulier exigées des procédures de lavage et désinfection des roues.

Enfin, certains projets disposés sur le site du principal apporteur de matière peuvent envisager le transport par tapis convoyeur (substrats solides) ou bien par réseaux de canalisations enterrées (substrats liquides).

3.2.2. Réception

La réception des matières doit être tracée et, si possible, réalisée dans des ouvrages dédiés. La traçabilité en place doit permettre le cas échéant, d'isoler certains intrants pollués. A noter qu'en cas de mélange de sous-produits animaux de différentes natures, les obligations les plus sécuritaires fixées par l'un des sous-produits animaux s'imposent au mélange. La réception des matières solides sera de préférence réalisée sur plateforme. Celle-ci peut être couverte, confinée et munie d'un système de traitement de l'air vicié (Figure 8, Photo 2).

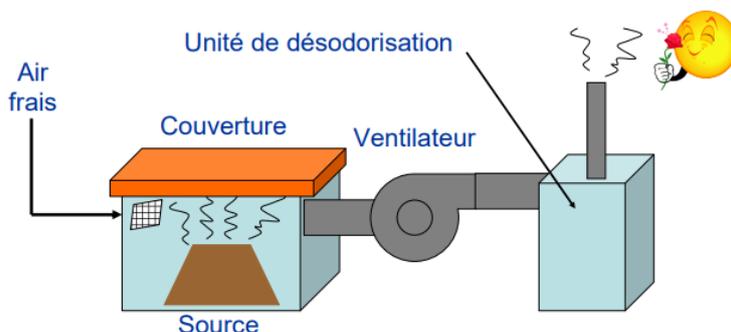


Figure 8 : Schéma de principe du traitement d'air vicié – Source : (9)



Système d'aspiration de l'air vicié à sa source

Unité BioVilleneuveois (47)

Photo 2 : Exemple d'une plateforme de dépotage avec traitement d'air vicié – FONROCHE Biovilleuovis (47)

Cette configuration, qui entraîne un surcoût au projet, ne sera envisagée qu'en cas de projets situés à proximité de zones urbanisées et/ou en cas de déchets entrants fortement odorants. Une attention particulière devra être portée sur la conception du bâti afin de limiter les éventuelles fuites dans le temps.

3.2.3. Prétraitements

Des prétraitements en amont du stockage peuvent être nécessaires à l'exemple du broyage et de l'hygiénisation.

Les matières à stocker riches en matière végétales fibreuses, nécessitent un broyage pour minimiser le foisonnement, et faciliter leur confinement en silos-andains, comme par exemple avec l'ensilage des CIVEs (10).

Le volet 3.3.1 détaille les prétraitements appliqués sur les résidus agricoles tels que les fumiers et les végétaux secs.

Le cas des déchets à hygiéniser

Généralement, l'administration impose l'hygiénisation (70°C pendant au minimum 1 h) des produits réceptionnés sous 24 heures. La taille des particules doit être inférieure à 12 mm. Les ouvrages de réception et de traitement doivent être dimensionnés en conséquence, pour permettre le respect de ces règles imposées au travers de l'Agrément Sanitaire.

3.2.4. Stockage

La capacité du stockage doit être adaptée à la durée de stockage prévisionnelle. Les emplacements seront choisis de manière à faciliter le chargement en méthanisation, en particulier pour les matières solides à stocker à proximité du/des modules de dosage. Les opérations de manutention seront ainsi moins chronophages.

Que les matières soient liquides ou solides, elles seront dans la mesure du possible protégées des intempéries (pluies, chaleur) :

- Pour les liquides, le stockage en fosse couverte permet de ne pas diluer la matière avec des eaux de pluies induisant des volumes supplémentaires à prendre en charge et à épandre en sortie. Les pertes d'azote sont également minimisées.
- Pour les solides, le stockage à l'abri permet d'améliorer la conservation de la matière en évitant d'augmenter l'humidité de la matière et en limitant le lessivage. Les lixiviats produits, source de pertes de matière facilement biodégradable et méthanisable, voire de pollution, doivent être collectés. Cette lixiviation peut aussi intervenir en absence de pluie en raison de l'évolution de la matière au cours du stockage. Dans tous les cas, une récupération de ces jus doit être mise en place afin d'éviter tout impact environnemental notamment des nappes phréatiques.

De plus, la pluviométrie impacte l'humidité des intrants stockés en extérieur, et par conséquent le taux de matière sèche dans le digesteur.

Différentes pratiques de stockage sont mises en œuvre :

- A l'air libre (dans des casiers ou sur dalle en béton, voire sur le sol),
- Dans des bâtiments, la matière est ainsi placée à l'abri de la pluie,
- En mode confiné, de type ensilage,
- En fosses ou réservoirs fermés ou à l'air libre pour les produits liquides.

Dans tous les cas, il conviendra d'intégrer des mesures visant à prévenir les risques, pour les opérateurs, liés aux émissions de gaz lors de la fermentation (NH_3 , H_2S) ou du mélange de matières.

Le mode de stockage doit être défini en fonction du type de matière et notamment de son état liquide, pâteux, solide, sec ou pulvérulent. L'agitation des produits liquides permet d'homogénéiser la matière lors du pompage. Pour les cuves de stockage des graisses, un chauffage peut être nécessaire pour éviter qu'elles ne figent et permettre leur pompage.

Certaines pratiques de stockage et en particulier l'ensilage permettent une bonne conservation de la matière. L'ensilage est couramment utilisé sur certains substrats végétaux de type

CIVEs, déchets verts, résidus de légumes.... Il est de préférence réalisé sur des matières contenant une fraction organique facilement biodégradables (sucres, protéines) telles les CIVEs ou autres résidus agricoles (11). Il est fortement préconisé pour réduire la biodégradation aérobie au contact de l'air qui a pour conséquence de conduire à des pertes significatives en potentiel biométhanogène.

Pour les déchets facilement biodégradables tels que les biodéchets de restauration, résidus de l'industrie agro-alimentaire et de Grande et Moyenne Surface, l'introduction en méthanisation en flux tendus est préconisée.

3.3. Stockage des matières solides

3.3.1. Stockage à l'air libre / Stockage couvert

Ce mode de stockage s'adresse principalement aux résidus agricole tels que les fumiers et les végétaux secs (menues pailles, paille, résidus de récolte de culture sèche).

■ Impact du stockage sur la conservation de la matière et le potentiel méthane

Le Club Biogaz indique, dans son guide de bonnes pratiques pour les projets de méthanisation, que pour le fumier stocké à l'air libre près de 90% du potentiel méthanogène est perdu pendant les 50 premiers jours (1). Il est par conséquent indispensable de réduire au maximum la durée du stockage ou de confiner la matière pour réduire les pertes associées à la biodégradation aérobie au contact de l'air.

Ces pertes ont été mesurées au cours d'essais réalisés par l'INSA à l'échelle du laboratoire et l'APESA au cours d'essais réalisés sur sites.

Une partie des résultats obtenus pour le stockage du fumier (essais terrain) est présentée dans le Tableau 2 (résultats APESA).

Tableau 2 : Pertes de potentiel méthane au cours du stockage de fumier selon différentes modalités testées in-situ

		Fumier (taurillon)	Fumier (équin)	Fumier (équin)	Fumier (équin)
Broyage préalable au stockage		Non	Oui	Oui	Non
Mode de stockage		Sous bâche	Sous bâche	A découvert	A découvert
MS initiale		30%	60%	60%	80%
Diminution MV du fumier (en % du PB) Après 3 mois de stockage		23%	68%	10 à 20%	<5%
Potentiel méthane du fumier (Nm ³ CH ₄ /tPB)	Initial	65	134	134	182
	Après 3 mois de stockage	52	15	75	167
Diminution du potentiel méthane du fumier (Nm ³ CH ₄ /tPB) Après 3 mois de stockage		20%	90% 1%/jour	45%	10%
Commentaire		Conditions météorologiques favorables : très faible pluviométrie			

Le potentiel méthane des fumiers diminue avec la durée du stockage de même que la quantité de matière à dégrader. La perte globale de matière (poids) a pu être évaluée pour le fumier de taurillon, elle s'élève ainsi à 12% après 3 mois de stockage en raison de la dégradation de la matière. La diminution réelle du potentiel méthane est ainsi de l'ordre de 30% sur la période considérée, valeur supérieure aux 20% affichés dans le tableau ci-dessus qui n'intègre pas cette perte de poids.

Les pertes de potentiel méthane les plus importantes ont été mesurées pour le fumier équin à 60% de MS ayant été préalablement broyé. Dans ces conditions, le stockage sous bâche était le moins conservatif, près de 90% du potentiel méthane ($\text{Nm}^3\text{CH}_4/\text{tPB}$) était perdu en 3 mois avec une **diminution de l'ordre de 1% par jour**. Le fumier broyé a subi plus de manipulations que le fumier brut avec des étapes de chargement/transport/déchargement et broyage. Ces différentes manipulations ont aéré le substrat. Cette matière peu compacte avec 60% de MS est certainement restée au contact de l'air sous la bâche. La mise sous bâche n'a pas permis de réduire le contact avec l'air mais a eu tendance en raison des conditions météorologiques favorables à réduire les pertes thermiques favorisant la montée en température et l'activité microbienne aérobie.

Ces résultats montrent que la teneur en matière sèche de la matière est un critère important pour la conservation du fumier. Plus la teneur en MS sera élevée, plus faibles seront les pertes en potentiel biométhanogène (en conditions confinées).

Les conditions favorables à la conservation du fumier peuvent être listées :

- une teneur en MS élevée qui peut être augmentée par ajout de paille,
- une couverture permettant de réduire tout contact avec les eaux de pluies. Si ce fumier doit être stocké sous bâche, il devra être tassé au maximum pour limiter les entrées d'air,
- réduire tout contact avec l'air. Les manipulations qui pourraient favoriser l'entrée d'air dans les tas devront être limitées. Il sera préférentiellement non broyé (ou juste avant introduction en méthanisation),
- co-stocker le fumier avec un résidu permettant aux conditions d'ensilage de s'établir (cf. § 3.3.2.)

■ **Aire de stockage**

Le stockage des matières solides sera réalisé à plat, sur des aires étanches. Si ces aires ne permettent pas la retenue des écoulements, un dispositif de collecte doit être prévu à cet effet. L'aire de l'ouvrage sera fonction :

- de sa hauteur utile,
- de la saisonnalité des substrats,
- du tonnage à stocker,
- de la densité du produit,
- de sa capacité à tenir en tas,
- de la technique de manutention employée.

La manutention est généralement assurée à l'aide de chargeurs.



Photo 3 : Principe du chargement des matières solides chez Méthabelair (86)

Sur certains projets où les aires de stockage sont couvertes, l'emploi d'un grappin est parfois mis en œuvre. Le chargement peut alors être automatisé.

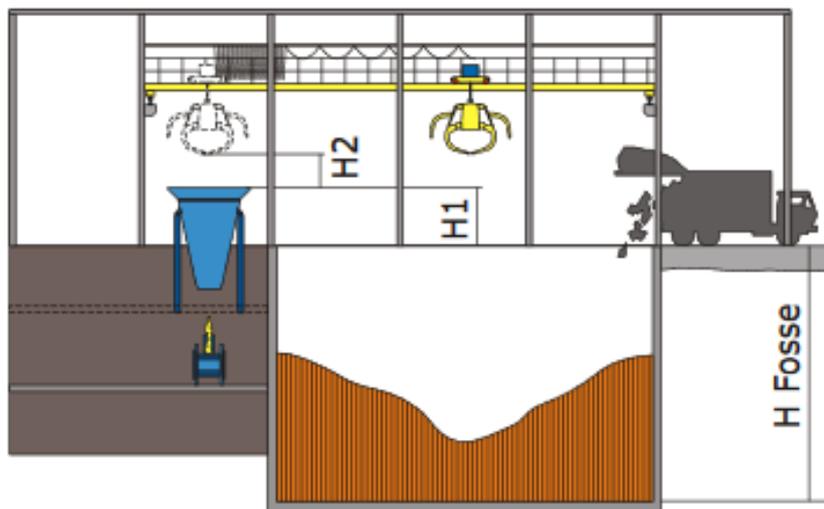


Figure 9 : Schéma de principe du chargement par grappin (Source : GHSA)

Les ouvrages doivent être étanches et permettre la collecte des jus (légère pente). A cet effet, on préconisera des doubles pentes successives qui permettent une séparation physique des jus et des matières solides (Figure 10). Ce principe limite les phénomènes d'obturation des caniveaux d'écoulement, synonyme d'intervention humaine.

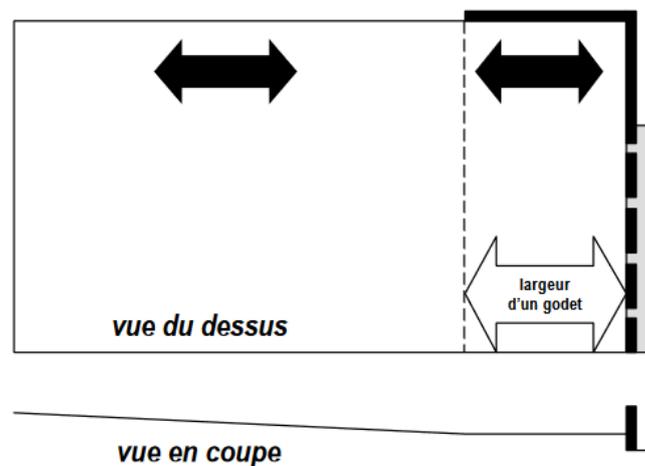


Figure 10 : Aire à 2 pentes successives dans le même sens avec retenue des éléments grossiers (Source : Concevoir une aire de lavage des matériels agricoles en CUMA - 2007)

Selon les superficies de stockage à mettre en place, la couverture des aires peut être envisagée.

La couverture de ces aires permet de limiter la reprise d'humidité du produit et l'écoulement excessif de jus. En effet, l'absence d'eau de pluie limite la lixiviation et les pertes associées (MO solubles et ses éléments nutritifs, azote minéral). La simple couverture ne permet pas de contrôler les émanations éventuelles d'odeurs. Celles-ci sont généralement liées à la présence d'ammoniac ou à l'évolution de la MO.

Si le porteur de projet envisage de limiter les nuisances olfactives, il est recommandé de confiner le bâtiment. Ce paramètre induit un surcoût non neutre. Le cas échéant, un système de traitement d'air vicié peut compléter l'installation.

■ Prétraitements

Les matières solides sont souvent prétraitées, soit avant stockage pour assurer leur conservation (tontes, issues de céréales...), soit lors de la préparation de la ration entrante pour s'assurer qu'elles seront facilement dégradables par méthanisation. Ces deux pratiques sont parfois employées pour sécuriser le fonctionnement du site et améliorer sa rentabilité.

Les prétraitements appliqués ou applicables aux résidus agricole sont présentés ci-après :

Diminution de la teneur en eau lorsque la matière est humide et fermentescible

La diminution de la quantité d'eau libre par ajout d'un substrat sec tel que de la paille (12) permet de réduire l'activité microbienne et ainsi la biodégradation de la matière en stockage confiné (sans air).

D'après les essais réalisés par DEEP à l'échelle du laboratoire, le stockage de fumiers de bovin (13% MS) à long terme est possible avec une bonne conservation de la matière. Pour cela le taux de matière sèche peut être augmenté par ajout de pailles pour atteindre une MS de 20-25%. En conditions de stockage confiné, l'augmentation de la teneur en matière sèche réduit l'activité microbienne et minimise les pertes en matière et PBM, permettant ainsi de favoriser la conservation des fumiers sur quelques mois. L'ajout de paille ne permet pas d'atteindre les conditions d'ensilage (pas d'acidification de la matière organique).

Broyage

Lorsque le broyage n'est pas réalisé en amont du stockage, les fumiers doivent si possible être broyés avant incorporation dans un digesteur infiniment mélangé ou voie sèche continue. Le broyage permet au consortium bactérien d'accéder aisément à la MO contenue dans les biomasses (intérieur des tiges de pailles par exemple) et de les rendre plus facilement/rapidement assimilables. Il existe différents types de broyeurs adaptés à différentes matières solides. Un autre avantage d'un broyage en amont du procédé de digestion anaérobie peut-être la réduction de la viscosité du mélange intrants réduisant ainsi les coûts d'agitation. Les outils qui assurent une dilution en simultané, ou l'introduction des matières solides en pré-fosse brassée, procurent une certaine souplesse et permettent de limiter la formation de couche flottante.

Extrusion

Le principe d'extrusion consiste à écraser la biomasse entre deux vis hélicoïdales afin d'éclater les cellules et constituer une pâte humide à partir de produits solides. Cette technique est peu employée en France à ce jour. Un des avantages de l'extrusion, outre de modifier les propriétés physico-chimiques des matrices et de favoriser l'accessibilité de la matière et donc

le potentiel méthanogène (Photo 4). En parallèle, l'extrusion permet une diminution de la viscosité dans le digesteur anaérobie (13), réduisant ainsi les coûts nécessaires à l'agitation.



Photo 4 : Unité d'extrusion chez Larrère Environnement (40)

Traitement biologique

Des enzymes (généralement à base de cellulases, hémicellulases) peuvent aussi être introduits dans le milieu afin d'améliorer la dégradation des matrices lignocellulosiques. La société DSM commercialise des cocktails (Methaplus, Axiase...) destinés à améliorer la dégradation des substrats. Les prétraitements enzymatiques permettent aussi de réduire la viscosité et donc les coûts d'énergie pour l'agitation. Les cocktails enzymatiques peuvent être ajoutés en amont de la digestion anaérobie ou directement dans le réacteur.

Note : A l'échelle laboratoire, différents essais de prétraitements ont été testés afin de regarder leur impact sur la structure des matrices et leur efficacité sur les potentiels méthanogènes. Carrère et al. (2015) ont réalisé un état de l'art de ses différentes solutions de prétraitements en fonction du type d'intrants (boues, lignocelluloses, graisses). Des tendances ont été tirées sur les solutions les plus prometteuses pour une validation à l'échelle semi-industrielle (14).

3.3.2. Ensilage pour les matières humides (< 40% MS)

La technique de conservation par ensilage est bien connue en élevage. C'est une technique mise en œuvre pour conserver l'aliment fourrager (herbes, céréales) du bétail. Pour les productions saisonnières à conserver sur plusieurs mois (CIVEs, tontes ou autres résidus agricoles < 40% MS), il sera nécessaire de les ensiler pour éviter la perte de matière organique et de potentiel méthane avant méthanisation.

Cette technique consiste à stocker la matière végétale en tas compact et couvert faisant appel à l'anaérobiose et à une fermentation acidifiante à dominante lactique. Une acidification de la matière intervient alors par l'action des bactéries lactiques qui transforment les sucres solubles en acide lactique. Ceci permet une acidification rapide (de 2 à 4 unités de pH) de la matière nécessaire pour inhiber le développement des autres espèces et stabiliser l'ensilage (15). Cette pratique permet donc de conserver une grande partie de la matière organique de l'intrant. La qualité de l'ensilage et donc de la conservation de la matière nécessite une granulométrie faible (broyage éventuel), des taux d'humidité adaptés et des concentrations en

sucres solubles suffisantes pour permettre un démarrage de la fermentation lactique. Elle n'est donc pas *a priori* adaptée à toutes les biomasses et notamment celles qui sont pauvres en sucres facilement biodégradables et dont les teneurs en MS sont supérieures à 40%.

On peut toutefois adapter l'ensilage pour qu'il soit efficace pour d'autres gisements, comme le fumier : en utilisant des co-substrats/additifs. Le co-stockage des fumiers avec un produit riche en matière organique fermentescible est en effet une option intéressante pour la conservation de fumiers de bovin. Pauvre en sucres solubles, le fumier stocké en conditions confinées se dégrade rapidement en conditions anaérobie, avec des pertes conséquentes de matière et du potentielle biométhanogène. L'ajout d'un co-substrat fermentescible favorise l'ensilage de la matière suite à la production d'acide lactique par fermentation, conduisant à l'acidification (diminution du pH de 8 à 5-6 en une semaine). Cette baisse de pH peut permettre de limiter les pertes sur quelques mois. Si un ensilage efficace est mené pour le fumier, les pertes de PBM peuvent être réduites à moins de 15%, alors que des pertes de l'ordre de 75% ont été mesurées en conditions aérobie. Les pertes de matière organique sont aussi significativement réduites après 4 mois de stockage, d'après les essais réalisés au laboratoire DEEP avec l'ajout d'un co-substrat sucré.

L'introduction de la matière ensilée et des jus (après récupération) devra tenir compte de leur pH acide pour ne pas impacter l'équilibre biologique du digesteur (2). Enfin, l'ensilage pourrait permettre de modifier la structure lignocellulosique des substrats ce qui permettrait d'accélérer la digestion de la matière.

Impact sur la conservation de la matière et du potentiel méthanogène

Les essais réalisés par l'APESA (essais terrain) et l'INSA de Lyon (essais laboratoires) dans le cadre du projet DOSTE-SAM ont montré que les pertes de matières sur les CIVEs sont inférieures à 10 - 15% après 4 mois de stockage. Le potentiel méthane est aussi bien conservé avec des pertes inférieures à 10-12% sur 3 mois de stockage pour l'ensilage d'avoine et de sorgho par rapport à la MO initiale.

Une bonne conservation du potentiel méthane voire une augmentation a par ailleurs été mesurée pour l'ensilage de maïs après 4 mois de stockage ce qui pourrait être lié à une modification de la structure de la matière.

Le co-stockage peut être envisagé comme une solution d'ensilage pour des matières à priori non adaptées pour ce mode de conservation. Des essais in situ seraient nécessaires pour valider les résultats des essais laboratoire et évaluer le bénéfice de ce mode de stockage à l'échelle du terrain.

Types de silos employés

Pour l'ensilage de plantes entières, le silo couloir est le plus abordable et permet de monter les tas sur des hauteurs intéressantes. Plus le tas est haut, moins l'ouvrage constituera une charge élevée.

L'investissement dans l'aire de stockage est estimé à 35-40 €/m² avec un fond en enrobé et à 40-50 €/m² en béton. Le coût des bâches est d'environ 1 à 1,5 €/t MS ensilée (selon la conception du silo).

La densité du produit stocké est estimée entre 700 et 800 kg/m³.



Photo 5 : Stockage de CIVE ensilées en silo couloir (Allemagne)

Comme vu plus haut, l'emploi de bâches constitue une charge de trésorerie et de temps. Par ailleurs, l'intégration paysagère peut laisser dubitatif et il arrive que certains morceaux de plastiques soient désilés avec la matière (indésirables). Pour pallier ces contraintes, certains exploitants mettent en place une céréale pour couvrir leurs tas. Cette matière est digestible en méthanisation et compense en partie les pertes observées sur les premières strates du produit stocké.

Les espèces adaptées à ces conditions sont l'orge d'hiver, l'avoine d'hiver, le seigle, le blé ou encore le triticale. Des mélanges de céréales peuvent tout aussi bien être réalisés. Cette couverture végétale meurt en fin d'hiver et assure une couche de 10 à 15 centimètres, constituée d'ensilage dégradé, de chevelu racinaire et de résidus de céréales.



Photo 6 : Couverture de silo végétalisée (Source : la France Agricole)

Des tests PBM réalisés sur de telles couvertures (dans le cadre du suivi petite méthanisation – Installation Biogaz +) indiquent des potentiels de l'ordre de $316 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t MO}$ avec une matière composée à 20,2% de MO.

Pour les stockages ponctuels, il est possible de conditionner les fourrages en boudins (aussi appelés « chaussettes ») avec des densités allant jusqu'à 900 kg/m^3 en fourrages et plus de 1200 kg/m^3 sur des issues de céréales.

Ce principe est onéreux face à aux silos classiques et est facturé de 30 à 35 €/m linéaire selon le chantier. *"Il faut compter entre 2,50 et 4,50 m/ha pour l'herbe, 7 à 10 m/ha pour le méteil et jusqu'à 15 m pour le maïs"*. Il permet en revanche de s'affranchir d'ouvrages dédiés avec récupération des jus et couverture pour le stockage des boudins.

¹ Source : <http://terra.reussir.fr/actualites/le-boudin-une-autre-facon-de-stocker-l-ensilage-d-herbe-ou-de-mais:KZ5MUU9S.html>



Photo 7 : Boudineuse à plantes entières ensilées (Source : Eurobagging)

Ce principe peut également être employé pour certains substrats particuliers, à granulométrie fine (issues de céréales, grains entiers, ...).



Photo 8 : Boudineuse à produits fins (Source : CGAO)

■ **Préconisations générales**

La confection des silos doit se faire rapidement, ceux-ci seront fermés hermétiquement pour empêcher l'entrée d'air ou d'eau. Un hachage suffisamment fin et une bonne compaction du silo sont nécessaires pour limiter la présence d'air.

Dans le cas des ensilages à coupe fine en silos couloir ou taupinière, la bonne conservation repose sur l'acidification rapide de la masse du fourrage qui est favorisée par un hachage fin. Le fourrage récolté doit donc être haché finement pour permettre un bon démarrage de la fermentation : brins de moins de 2 cm de long pour l'ensilage de maïs, et moins de 5 cm pour l'ensilage d'herbe (15).

Les matières doivent être propres et ensilées dans de bonnes conditions de propreté pour ne pas introduire dans les silos des spores ou bactéries qui pourraient nuire au processus d'ensilage. Il sera en particulier important de s'assurer de l'absence de terre ou de divers résidus fumier/lisier dans les matières à ensiler.

La réalisation de la récolte se fera en fonction des conditions météorologiques et de la maturité de la matière à ensiler.

La teneur en MS de la biomasse au stade de la récolte est un point particulièrement important. Les plantes à ensiler doivent être récoltées au bon stade pour éviter les productions de jus importantes (MS trop faibles) et permettre une bonne stabilité de l'ensilage. Les taux de MS recherchés sont généralement :

- > 30% pour le sorgho,
- > 33% pour le maïs,
- > 30 % pour l'herbe/CIVE.

Le pH de stabilité augmente avec la teneur en MS, des agents d'ensilage peuvent être nécessaires pour des teneurs en MS inférieures aux taux recherchés, pour une herbe à moins de 30% MS par exemple (15).

La teneur en glucides solubles et le pouvoir tampon de la plante impactent la qualité de démarrage de l'ensilage (15). Les matières riches en glucides solubles et à faible pouvoir tampon sont faciles à ensiler (maïs, ray-grass) au contraire des matières pauvres en glucides solubles et à pouvoir tampon élevé (luzerne et dactyle). Dans ce cas, l'utilisation d'agents chimiques d'ensilage est nécessaire pour obtenir une acidification efficace (15).

■ **Préfanage et agents d'ensilage**

Le préfanage est utile pour les fourrages pauvres en sucres en diminuant la quantité d'acide lactique nécessaire pour inhiber la fermentation butyrique (16). Il présente toutefois certaines contraintes. Sa mise en œuvre est très dépendante des conditions météorologiques et complexifie l'opération d'ensilage entraînant des coûts supplémentaires (16).

De plus, si la durée du préfanage n'est pas optimisée, elle peut entraîner une diminution de la concentration en sucre ce qui peut être pénalisant pour l'étape d'ensilage.

Cela explique l'intérêt porté dans de nombreux pays aux conservateurs ou agents additifs dans les ensilages. Ils peuvent être classés en trois grandes catégories (16):

- Les produits sucrés utilisés par la fermentation lactique,
- Les produits bactériostatiques (formol) utilisés pour bloquer la fermentation butyrique,
- Les acides qui diminuent le pH et bloquent ainsi toute fermentation butyrique.

Des additifs biologiques sont aussi utilisés. Ces « conservateurs biologiques » ou pré-mélanges d'additifs contiennent des bactéries lactiques et potentiellement des enzymes et un support énergétique.

Leur efficacité est dépendante de la matière (% MS, teneur en sucres...), des conditions d'application, de la nature de l'additif (quantité et type de bactéries), des conditions de développement (17).

Ces produits ne sont pas indispensables mais peuvent être utiles dans certains cas à l'exemple des ensilages bien préfanés de fourrages de bonne qualité ou riches en légumineuses (17).

■ **Récupération des jus**

Des jus peuvent être produits au cours du processus d'ensilage. Ces effluents sont fortement concentrés et doivent par conséquent être collectés tant pour éviter une pollution du milieu (sol, eau) que pour conserver des matières pouvant être méthanisées. Le pH acide de ces effluents leur confère un caractère corrosif.

La production d'effluents de silos dépend essentiellement du taux de matière sèche du fourrage ensilé, des conditions de récolte et du type de fourrage ensilé. Elle est inversement proportionnelle à la teneur en matière sèche (15) comme présenté sur la Figure 11.

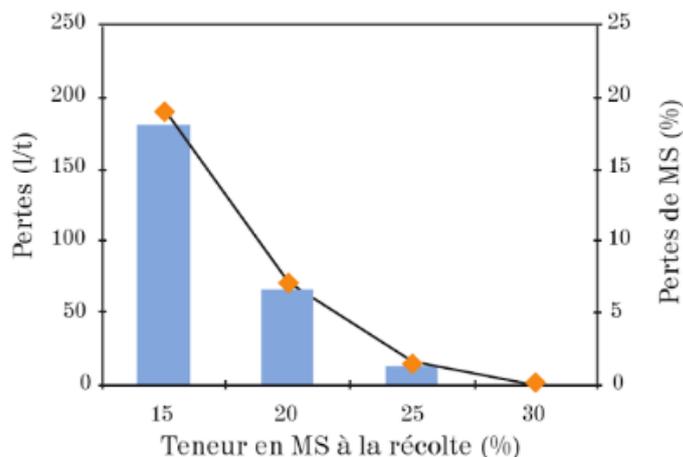


Figure 11 : Effet de la teneur en matière sèche du fourrage récolté sur la production d'effluents tiré de (18) (L. t⁻¹ d'après (19)) et en (% MS récoltée, (20))

Ces pertes sont :

- très faibles à inexistante pour un taux de MS > 27 %,
- très fortes pour un taux de MS de 15 à 16 %.

Elles sont augmentées par l'utilisation d'agents chimiques d'ensilage (15). La production de jus se fait dès les premiers jours et s'arrête après trois semaines environ, elle est à son maximum dans les 3 à 5 jours qui suivent la fermeture du silo (15).

Un caniveau sera utilisé pour collecter les jus et les diriger vers une cuve ou fosse de stockage. Pour les silos extérieurs, les jus seront, si possible, collectés séparément des eaux pluviales.

■ Contrôle de la stabilité de l'ensilage

L'AFSSA indique des pH de stabilité de la masse du fourrage en fonction de la teneur en matière sèche (15). Ces valeurs sont reprises dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Valeurs de pH de stabilité de la masse du fourrage en fonction de la teneur en matière sèche (15)

(pour être stable, l'ensilage d'herbe coupe fine doit présenter un pH inférieur au seuil indiqué).

Matière sèche (g/kg)	pH
150	≤ 4,0
200	4,0
250	4,2
300	4,3
350	4,5
400	4,6
450	4,8
500	5,0

Pour le maïs plante entière, le pH maximum recommandé est de 4 pour une teneur en MS de 32 à 35% (15).

Ce pH peut être mesuré facilement par lixiviation afin de contrôler la stabilité de l'ensilage. Un échantillon de matière est prélevé et mis en contact avec de l'eau du robinet pendant 2 h.

La quantité d'eau nécessaire est de 100 mL pour 10 g de MS.

⇒ Par exemple un échantillon à 30% de MS nécessitera 150 mL d'eau (soit 150 g d'eau) pour lixivier 50 g de matière ensilée.

Il convient d'agiter manuellement ce mélange ponctuellement pendant ces 2 heures de trempage.

Une fois le temps écoulé, la matière solide est séparée du liquide par filtration avec une passoire par exemple. Le pH est alors mesuré sur la phase liquide.

Les acides en présence dans cette phase liquide permettent aussi d'évaluer la qualité de l'ensilage. L'acide lactique doit être majoritaire. Leduc et al., (1998) ont établi des ratios de qualité des ensilages selon la proportion des acides en présence (21) :

- (a) acide lactique / acides totaux > 75% (excellent) et > 50% (bon),
- (b) acide acétique / acides totaux < 15% (excellent) et < 30% (bon),
- (c) acide butyrique / acides totaux < 1,5% (excellent) et < 5% (bon à moyen).

■ **Conclusion sur l'ensilage**

L'ensilage est une méthode de stockage conservative pour les substrats qui s'y prêtent. Des bonnes pratiques doivent être mises en œuvre pour permettre la réussite de l'ensilage :

- Récolter les plantes à ensiler au bon stade pour éviter des productions de jus importantes (exemples : herbe/CIVE > à 30% MS, sorgho > à 30% MS, maïs > à 33 % MS),
- Dimensionner le silo de manière à consommer régulièrement le front : 20 cm/jour l'été et 10 à 15 cm/jour en hiver,
- Préparer soigneusement le site et le matériel pour le silo avant la récolte,
- Hacher la matière suffisamment fine pour favoriser un bon tassement (absence d'air) qui procurera une bonne conservation de la matière végétale,
- Bien tasser pour chasser l'air du tas, par strates de 20 à 30 cm, ce qui peut nécessiter plusieurs tracteurs,
- Ne pas incorporer de terre dans le tas (risque de fermentation butyrique dégradant la qualité de l'ensilage),
- Bien poser les bâches de couvertures pour éviter la formation de poches d'air, ou pour moins de pénibilité, ensemercer rapidement une céréale sur le dessus du tas. A noter que cette technique entraîne la dégradation d'une couche de 10 à 15 cm de matière. Il est donc préférable de l'employer sur les tas hauts où les pertes représenteront une part inférieure.

L'ensilage dédié à l'alimentation animale ou au stockage de matière avant méthanisation ne présentent pas de différence quant aux pratiques mises en œuvre.

3.3.3. Cas particulier de l'inertage au dioxyde de carbone

Certains exploitants de méthaniseurs testent depuis quelques années une technique d'inertage au CO₂ produit naturellement au cours du stockage. Cette technique peut être intéressante sur des gisements trop secs pour être ensilés (> 40%) et trop verts (< 80-85%) pour être laissés en stockage vrac (auto combustion possible).

Le principe mis en œuvre par ceux-ci est une méthode sensiblement identique à l'ensilage. La matière est mise en tas puis tassée et laissée en attente. Elle n'est pas recouverte immédiatement, de manière à favoriser un pré-compostage de la matière (d'où une production de CO₂ par oxydation). Lorsque la couche suivante est apportée, elle enferme la matière en présence de CO₂, ce qui semble permettre une conservation efficace.

Cette technique n'a pas été évaluée en laboratoire mais semble efficace selon les exploitants qui la pratiquent.

3.3.4. Chaulage

Elle peut être utilisée dans un objectif d'assainissement des fumiers par exemple. Des essais laboratoires ont été menés avec de la chaux pour prétraiter chimiquement ou thermo-chimiquement des substrats lignocellulosiques difficilement biodégradables. Le chaulage semble employé sur Ordures Ménagères Résiduelles (OMR) en vue de produire des Combustibles Solides de Récupération (CSR) et un engrais calcique (sous-produit) avec le procédé OXALOR par exemple.

3.4. Stockage des matières liquides

3.4.1. Les ouvrages de stockage

Le stockage des matières liquides doit permettre de conserver une homogénéité du produit afin que chaque soutirage procure une matière homogène. Sur effluents d'élevages, c'est assez simple même si certaines zones mortes des ouvrages constituent des pièges à matières sèches.

Les ouvrages de stockage pour matières liquides peuvent se présenter sous diverses formes présentées ci-après.



Photo 9 : Fosse circulaire chez Méthalandes (40)



Photo 10 : Lagune couverte chez Méthabelair



Photo 11 : Citerne souple semi enterrée en pointe de diamant inversée (Source : Labaronne-Citaf)

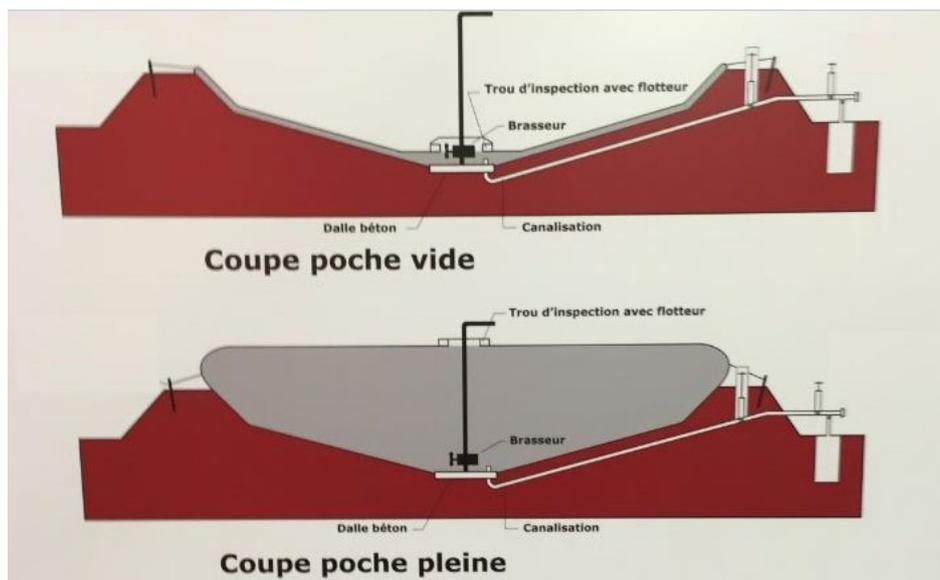


Figure 12 : Poche à lisier avec brasseur intégré (ABL Distribution – Albers Alligator)

Toutes ces solutions peuvent être couvertes et équipées de dispositifs d'homogénéisation (brasseurs, pente combinée à une pompe de recirculation,...). Des stockages à fonds coniques ou en pointe de diamant inversée sont particulièrement indiqués pour permettre une vidange complète des ouvrages et éviter les pertes de volume utile (par accumulation de matières en zones mortes).

Les prix pratiqués varient selon la contenance des ouvrages (Tableau 4).

Tableau 4 : Gamme de prix des stockages de matières liquides (travaux annexes de terrassement inclus)

Ouvrages	Coût
Les fosses circulaires	De 50 à 200 €/m ³ selon volume
Les lagunes	De 15 à 60 €/m ³ selon volume
Les citernes souples	50 à 100 €/m ³ selon volume

Les matières liquides peuvent être introduites dans le digesteur sans prétraitement particulier, excepté si elles doivent être hygiénisées.

3.4.2. Cas particulier du stockage du lisier

Conservation de la matière et du potentiel méthane

Des essais menés par l'APESA ont montré qu'un lisier de canard, dont le pH était naturellement de 5,4, perdait 27% de son potentiel méthane après un mois de stockage à la température de 20°C. Ce pH acide n'a pas permis aux mécanismes biologiques de méthanogenèse ou de dégradation aérobie de s'installer limitant les pertes. Seuls des phénomènes d'hydrolyse et d'acidogenèse ont pu intervenir.

Les pertes mesurées pour un lisier présentant un pH plus élevé seront par conséquent supérieures. Le Club Biogaz indique que pour le lisier près de 90% du potentiel méthane est perdu pendant les 30 premiers jours de stockage (1). Par conséquent, le lisier doit être si possible traité en flux tendu ou en limitant au maximum la durée du stockage.

Modes de stockage

La directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles, appelée directive IED, a pour objectif de parvenir à un niveau élevé de protection de l'environnement grâce à une prévention et à une réduction intégrées de la pollution provenant d'un large éventail d'activités industrielles et agricoles. La directive prévoit la détermination de MTD (Meilleures Techniques Disponibles) de référence au travers d'un échange d'informations entre États membres, industries, organisations non gouvernementales de protection de l'environnement et Commission Européenne. Ce travail est assuré par un service de la Commission européenne : le Bureau Européen de l'IPPC (22). Il a abouti à la création de documents de référence MTD appelés « BREF » (pour Best available techniques REFerence document) et de « conclusions sur les MTD ». Les conclusions sur les MTD sont disponibles pour l'élevage intensif de volailles ou de porcs et présentent des préconisations pour le stockage des matières solides et liquides. Elles sont présentées en **Annexe 2**.

Ces MTD concernent pour partie le stockage du lisier dans l'objectif de réduire les odeurs et émissions atmosphériques d'ammoniac. Le stockage du lisier nécessite en effet des mesures de sécurité adéquates pour protéger les opérateurs des émissions toxiques (NH₃, H₂S principalement).

Les MTD préconisent de :

- couvrir les fosses,
- réduire au maximum l'agitation,
- acidifier le lisier.

■ Couverture des fosses

Le Club Biogaz a établi des recommandations pour le stockage des matières entrantes et sortantes. Le lisier doit être stocké en réduisant la surface de contact air – lisier ainsi que la circulation d'air grâce à la couverture des fosses ou à l'utilisation de poches à lisier (1). Cette pratique permet ainsi de limiter les odeurs consécutives au vent, bien souvent synonymes de volatilisation de l'azote.

Le lisier étant composé majoritairement d'eau, il est déconseillé de le diluer davantage. La couverture permet ainsi de ne pas le diluer avec les eaux de pluies ce qui permet d'optimiser la capacité de stockage et les flux de lisiers à traiter.

Attention cependant, les couvertures de lagunes sont onéreuses et peuvent constituer 40 à 45% de l'investissement dans l'ouvrage. Elles sont flottantes ou tendues.

Sur fosses circulaires, les couvertures coûtent entre 40 et 100 €/m² selon la technologie retenue. Celles-ci peuvent être tendues autoportantes ou bien bâties en forme de chapiteau si un mat central est prévu à cet effet.

■ Agitation

Le brassage du lisier est généralement réalisé pour pouvoir pomper une matière homogène et remettre en suspension les éventuelles particules solides qui se seraient déposées en fond de fosses. Ces dépôts, avec le temps, limitent le volume utile des ouvrages de stockage.

Le brassage peut aussi favoriser les émissions de composés volatils à l'atmosphère. Les MTD préconisent de réduire au maximum l'agitation, cette pratique doit par conséquent être limitée au besoin d'homogénéisation de la matière pour le pompage.

Attention, l'agitation doit si possible être réalisée en plusieurs points des ouvrages. En effet, la concentration de celle-ci en un point aura tendance à centrifuger la matière sèche dans les coins/angles opposés.

■ Aération

Des essais laboratoire ont montré qu'une aération séquencée (une ou deux heures par jour) réduisait d'environ 70% les émissions de méthane en inhibant la dégradation anaérobie sans permettre la dégradation du carbone par voie aérobie (23). En revanche, cette aération favorise le stripping de l'azote principalement sous forme d'ammoniac (23).

Le Club Biogaz recommande ainsi, pour les stockages qui ne peuvent pas être confinés, une aération régulière pour limiter les émissions de CH₄ générées en conditions anaérobies (1). Pour les déjections porcines, une aération 1 heure par jour est suffisante pour ne pas générer d'émission de méthane (24) cité dans (1).

Des recommandations ont été faites, en 2006, par la chambre d'agriculture Rhône Alpes pour réduire les odeurs liées au stockage des lisiers bovins par micro-aération (25).

Les matériels et brassages recommandés sont présentés dans le Tableau 5.

Tableau 5 : Recommandations des conditions de brassage pour réduire les odeurs de lisier bovin (25) (26)

Type de fosse	Volume de fosse	Temps de brassage unitaire	Fréquence de brassage : toutes les	Matériel recommandé
Circulaire	300 à 1000 m ³	4 à 8 min	2 h	Brasseur aérateur 7,5 à 11 kW
	150 à 300 m ³	3 min	2 h	Brasseur aérateur 5,5 kW
Rectangulaire	200 à 500 m ³	10 min	2 h	Brasseur aérateur 11 kW
Slalom	450 m ³	10 à 30 min	4 h	Brasseur aérateur 7,5 à 11 kW
	900 m ³			Brasseur aérateur 11 à 15 kW
Fosse bateau	1000 m ³	10 min	2 h	Brasseur aérateur 11 à 15 kW

La chambre d'agriculture Rhône Alpes avait alors estimé le coût du brasseur micro-aérateur entre 6 000 € et 10 000 € (coût installé).

Les quantités d'air nécessaires (30 à 1000 L/min) dépendent de la taille des bulles qui impacte l'efficacité de l'aération (efficacité augmentée lorsque la taille des bulles diminue) (26). Ce débit d'air correspond selon la dimension de la fosse (300 à 1000 m³) à un débit unitaire de 0,03 à 3,33 L d'air/min/m³ fosse.

Cette pratique est toutefois controversée en raison du risque d'augmenter les émissions d'ammoniac. Les lisiers présentant un pH basique (>8), plage favorisant la forme NH₃ de l'azote sont plus particulièrement à risque. Un contrôle des émissions d'ammoniac devra alors être mis en place.

■ Additifs

Les additifs pour lisier existent depuis de nombreuses années pour limiter les émissions d'odeurs, en particulier d'ammoniac et d'hydrogène sulfuré. Ces additifs peuvent être des consortiums microbiens ou des argiles prétraitées.

Les argiles prétraitées à faible dose, 20 g/m³, permettraient d'absorber les lisiers et l'eau dans leur structure. Le lisier serait ainsi plus homogène et les émissions d'ammoniac et d'odeurs indésirables seraient réduites de 20 à 25% (27).

Les consortiums bactériens sont des bactéries de type aérobies/anaérobies facultatives. Elles entrent en compétition avec les bactéries anaérobies du lisier limitant les fermentations à l'origine des émissions d'hydrogène sulfuré (H₂S) et d'ammoniac (NH₃). Elles fonctionnent dans une gamme de pH de 5,5 à 8,5 et nécessitent un complément nutritionnel. Les émissions de gaz polluants et odorants (résultats LNE²) sont réduites de 90% pour l'hydrogène sulfuré et 80% pour l'ammoniac (28).

Les réactions biologiques liées à l'introduction de ce consortium bactérien pourraient générer une perte de matière à l'origine d'une diminution du potentiel méthane. Cette éventuelle perte devra être contrôlée en fonction du type de lisier conditionné.

Bilan sur le stockage du lisier

Le lisier sera stocké sur des périodes courtes afin de limiter la dégradation de la matière. Dans l'idéal cette période sera d'une semaine. Les volumes de stockage seront par conséquent adaptés en fonction. Les cuves ou fosses devront être vidées complètement à chaque dépotage afin d'éliminer les matières en suspension, support de développement bactérien à l'origine de pertes de potentiel méthane. La cuve de stockage sera conçue de manière à permettre cette évacuation des matières. Une conception en pointe de diamant pourra être recommandée.

3.4.3. Autres matières liquides

Certaines matières liquides doivent être maintenues en température (graisses) ou refroidies (sang) pour éviter leur prise en masse ou leur dégradation lors du stockage.

Les ouvrages adaptés doivent être conçus en adéquation.

Notons que ces déchets représentent généralement des volumes réduits, en comparaison aux effluents d'élevages par exemple. Les fosses de dépotages (souvent bi-pentes) en béton peuvent faire office de stockage si leur capacité le permet. L'emploi de cuves inox à double peau, employées par exemple en vinification, semble également adapté. Ces solutions s'adressent toutefois aux projets dont ce gisement reste limité. Pour ceux qui disposent de quantités importantes, l'emploi de fosses béton circulaires chauffées semble inévitable.

Les matières grasses sont des produits difficiles à stocker du fait des séparations physiques qui peuvent survenir (flottation). Un brassage efficace est indispensable pour homogénéiser la matière avant chaque soutirage.

² LNE: Laboratoire National de métrologie et d'Essais

Aussi, certains exploitants s'interrogent sur la mise en place d'une étape de saponification en présence d'un agent alcalin (la soude ou la potasse). Cette étape permettrait de solubiliser la matière et donc de la fluidifier. C'est une étape intéressante sur des produits épais notamment, permettant de réduire les difficultés de pompage en amont du méthaniseur. Enfin, ce prétraitement peut permettre une dégradation plus rapide et plus complète de la MO.

4. Bonne pratiques de gestion des matières avant méthanisation

Ce volet correspond aux fiches techniques qui présentent de manière synthétique aux porteurs de projet et aux producteurs les pratiques de stockage à mettre en œuvre pour les fumiers, végétaux et lisiers.

4.1. Fiche technique fumier : bonnes pratiques de stockage

Réglementation

L'emplacement des stockages doit respecter des distances minimales réglementaires par rapport aux tiers, sources, puits... Ces distances sont précisées dans le Règlement Sanitaire Départemental applicable ou les arrêtés préfectoraux selon l'activité du site où sont stockés les fumiers.

Caractéristiques des fumiers bovins et équins (source APESA)

Les fumiers présentent une forte hétérogénéité, leur teneur en matière sèche varie en fonction du mode de production et du type d'élevage.

Paramètres	Fumier bovin			Fumier équin		
	MS %PB	MO %MS	PBM Nm ³ CH ₄ /t MO	MS %PB	MO %MS	PBM Nm ³ CH ₄ /t MO
Moyen	24	80	178	47	85	202
Minimum	14	51	21	12	59	25
Maximum	55	94	334	90	94	358

Les fumiers équins sont pailleux et présentent une MS supérieure aux fumiers bovins. De fortes disparités existent aussi pour les potentiels méthanogènes des fumiers. Les fumiers équins à base de litière de copeaux de bois ne sont pas intéressants en termes de production de méthane alors que les fumiers « paille » se situent dans des productions proches des fumiers de bovins. Les fumiers équins à base de litière de copeaux ont des potentiels méthane 5 fois plus faibles que les fumiers équins à base de litière paille (29).

Pertes de matière et de potentiel méthanogène au cours du stockage

Ces pertes ont été mesurées au cours d'essais réalisés par l'INSA (essais laboratoire) et l'APESA (essais terrain). Les pertes les plus importantes ont été mesurées par l'APESA pour un fumier équin à 60% de MS ayant été préalablement broyé. Le mode de stockage le moins conservatif entraînait des pertes près de 90% du potentiel méthane (Nm³CH₄/tPB) en 3 mois avec une **diminution de l'ordre de 1% par jour**.

Le fumier peu compact avec 60% de MS avait subi des manipulations (chargement / transport / déchargement et broyage) qui avaient introduit de l'air au sein de la matière. La mise sous bâche n'avait pas permis de réduire le contact avec l'air mais avait eu tendance à réduire les pertes thermiques favorisant la montée en température et l'activité microbienne aérobie.

Les résultats de ces essais permettent d'établir les préconisations pour le stockage du fumier dans les meilleures conditions de conservation.

Plus la teneur en MS sera élevée, plus faibles seront les pertes en potentiel biométhanogène (en conditions confinées).

Préconisations générales pour le stockage du fumier

⇒ Réduire tout contact avec l'air.

Les manipulations du fumier lors de sa collecte, de son transport et stockage doivent être limitées au maximum pour ne pas aérer la matière au risque d'accélérer la dégradation de la matière sèche.

Il sera préférentiellement non broyé (ou juste avant introduction en méthanisation). Si ce broyage doit être réalisé avant stockage pour réduire l'encombrement de la matière, une étape de tassement et de confinement devra être mise en place pour limiter la présence d'air au sein de la matière.

⇒ Stockage sous abri en mode confiné

La conservation du fumier se fera sous abri dans la mesure du possible pour limiter les pertes au cours du stockage. Ceci permettra de plus de ne pas humidifier le fumier avec des eaux de pluies qui pourraient impacter le taux de matière sèche dans le digesteur.

Les fumiers sont déposés sur une aire étanche, munie au moins d'un pont bas, où sont collectés les liquides d'égouttage et les eaux pluviales qui doivent être dirigées, à l'aide de canalisations étanches et régulièrement entretenues, vers des installations de stockage étanches ou de traitement des effluents d'élevage (Règlement Sanitaire Départemental - RSD). Dans tous les cas, une récupération de ces jus doit être mise en place tant pour prévenir les sources de pollution que pour conserver le potentiel méthane de la matière.

**Limiter la
durée du
stockage**

Par ailleurs, des essais laboratoire réalisés au laboratoire DEEP INSA de Lyon ont montré que :

- diminuer la quantité d'eau libre par ajout d'un substrat sec tel que de la paille (12) permet de réduire l'activité microbienne et ainsi la biodégradation de la matière en stockage confiné (sans air). Pour cela le taux de matière sèche peut être augmenté par ajout de pailles pour atteindre une MS de 20-25%.
- co-stocker le fumier avec un produit riche en matière organique fermentescible est une option intéressante pour la conservation de fumiers de bovin. Ce co-stockage permettrait aux conditions d'ensilage de s'établir.

Des essais in situ seraient nécessaires pour valider les résultats des essais laboratoire et évaluer le bénéfice de ce mode de stockage à l'échelle du terrain.

4.2. Fiche technique végétaux : bonnes pratiques de stockage

Végétaux humides < 40 % MS

Production saisonnière à conserver sur plusieurs mois (CIVE, tontes...).

➔ Ensilage pour éviter la perte de MO et de potentiel méthane.

Si peu de sucres solubles (glucides) sont accessibles dans la matière à ensiler, une étape de préfanage ou d'ajout d'agents d'ensilage est recommandée.

Récupérer les jus d'ensilage :

- ⇒ Limitation des pertes de carbone et matières à méthaniser
- ⇒ Limitation des pertes de pouvoir méthanogène
- ⇒ Protection de l'environnement

Exemple de mise en œuvre



Photo 12 : Stockages en silo taupinière réalisés dans le cadre du programme OPTICIVE (Unité Expérimentale d'Arvalis, Montardon)

Pertes en matière organique faibles (<15%) sur 4 mois de stockage.

■ Maïs plante entière => Conservation idéale avec une stabilisation voire une augmentation du potentiel méthane.

■ Sorgho fourrager => PBM bien conservé avec une perte inférieure à 10% à 4 mois de stockage.

Végétaux semi - humides 40 % < MS < 80-85%

Attention, les produits constitués de 40 à 80% de MS (canne de maïs et résidus de récolte qui auraient repris de l'humidité par exemple) ne doivent pas être stockés sur de longues périodes. En effet, les risques d'échauffement et d'entrée en auto combustion existent et sont susceptibles de détruire la matière et les ouvrages environnants.

Végétaux secs > 80-85 % MS

Les végétaux secs (menues pailles, paille, résidus de récolte de culture sèche) doivent être stockés sous abri pour limiter les pertes au cours du stockage. Ceci permettra de plus de ne pas humidifier les végétaux avec des eaux de pluies qui pourraient impacter le taux de matière sèche avant incorporation dans le digesteur.

4.3. Fiche technique lisier : bonnes pratiques de stockage

Caractéristiques des lisiers (source APESA)

Paramètres	MS %PB	MO %MS	PBM Nm ³ CH ₄ /t MO	PBM Nm ³ CH ₄ /t PB
Moyen	5,0	71,7	310	12
Minimum	0,5	34,9	42	1
Maximum	12,6	96,7	755	40

Les lisiers sont hétérogènes et présentent une teneur en eau élevée qui explique le faible potentiel méthane exprimé par rapport au poids brut.

Réglementation

L'emplacement des stockages doit respecter des distances minimales réglementaires par rapport aux tiers, sources, puits... Ces distances sont précisées dans le Règlement Sanitaire Départemental applicable ou les arrêtés préfectoraux selon l'activité du site où sont stockés les lisiers.

Si l'ouvrage est couvert par une dalle, elle doit comporter un regard qui sera obturé dans l'intervalle des vidanges et un dispositif de ventilation. Dans le cas d'une fosse ouverte à l'air libre, elle doit être équipée d'un dispositif protecteur afin de prévenir tout risque d'accident (Règlement Sanitaire Départemental-RSD).

Le stockage du lisier nécessite en effet des mesures de sécurité adéquates pour protéger les opérateurs des émissions toxiques (NH₃, H₂S principalement).

Pertes de matière et de potentiel méthanogène au cours du stockage

Le guide de bonnes pratiques pour les projets de méthanisation du Club Biogaz indique que pour le lisier près de 90% du potentiel méthane est perdu pendant les 30 premiers jours de stockage (1). Le lisier doit être si possible traité en flux tendu ou en limitant au maximum la durée du stockage.

Réduire la durée du
stockage à 1 ou 2
semaines maximum

Pourquoi et comment couvrir sa fosse ?

La couverture de la fosse permet de :

- ⇒ Réduire les odeurs et les pertes d'azote par volatilisation
- ⇒ Éviter la dilution du lisier induisant des volumes supplémentaires à stocker, traiter et épandre en sortie.

Attention, les couvertures de lagunes sont onéreuses et peuvent constituer 40 à 45% de l'investissement dans l'ouvrage. Elles sont flottantes ou tendues.

Sur fosses circulaires, les couvertures coûtent entre 40 et 100 €/m² selon la technologie retenue. Celles-ci peuvent être tendues autoportantes ou bien bâties en forme de chapiteau si un mat central est prévu à cet effet.

Comment concevoir sa cuve de stockage ?

Les cuves ou fosses devront être vidées complètement à chaque dépotage afin d'éliminer les matières en suspension, support de développement bactérien à l'origine de pertes de potentiel méthane. La cuve de stockage sera conçue de manière à permettre cette évacuation des matières. La conception en pointe de diamant est particulièrement adaptée au stockage de lisier de canard dont la MS décante très rapidement.

Exemple de mise en œuvre



Photo 13 : Citerne souple semi-enterrée en pointe de diamant inversée (Source : Labaronne-Citaf).

Un système de brassage sera prévu pour permettre le pompage d'une matière homogène et remettre en suspension les éventuelles particules solides qui se seraient déposées en fond de cuve.

5. Bibliographie

1. **ADEME**. *La biologie des digesteurs à destination des exploitants d'unités de méthanisation*. s.l. : Guide pédagogique, 2014. ADEME Bourgogne.
2. *Guide de bonnes pratiques pour les projets de méthanisation*. **Club Biogaz**. s.l. : ATEE, Club biogaz, 2011.
3. **S3D APESA**. *Biologie des digesteurs Guide complet à destination des exploitants d'unité de méthanisation*. s.l. : Ademe Bourgogne, 2014.
4. **Chambre d'agriculture de Languedoc-Rousillon** . *Les produits organiques utilisables en agriculture en Languedoc-Rousillon tome 1*. 2012.
5. **Moletta, René**. *La méthanisation*. s.l. : Lavoisier, 2008. Edition Tec & Doc.
6. *Méthanisation*. **Cresson, Romain**. Narbonne, 6-10 juin 2011 : INRA Transfert Environnement, 2011. Biotechnologies pour le traitement de l'eau et des déchets.
7. **Ministère de la santé**. *Circulaire du 20 janvier 1983 relative à la révision du règlement sanitaire départemental type*. s.l. : Journal officiel de la république française, 1983.
8. **ADEME**. *Le cadre règlementaire et juridique des activités agricoles de méthanisation et de compostage*. s.l. : Rédacteurs: APESA (coordinateur) – BIOMASSE NORMANDIE – RITTMO. Mise à jour par le Club biogaz., 2015.
9. *Traitement des odeurs de la future STEP du Grand Prado*. **ENSCR**. St-Denis de La Réunion : BIARD Pierre-François, 2010.
10. **Teixeira Franco, R., Buffière, P. et Bayard, R**. Optimizing storage of a catch crop before biogas production: Impact of ensiling and wilting under unsuitable weather conditions. *Biomass and Bioenergy*. 100. 2017, 84-91. doi:10.1016/j.biombioe.2017.03.017.
11. *Ensiling for biogas production :Critical parameters, A review*. **Teixeira Franco, R., Buffière, P. et Bayard, R**. 94-104. doi:10.1016/j.biombioe.2016.08.014, 2016.
12. *Optimizing agricultural wastes storage before anaerobic digestion: impact of ensiling on methane potential of lignocellulosic biomass*. **Teixeira-Franco, R., Buffière, P. et Bayard, R**. 4th Int. Conference on Sustainable Solid Waste Management : Limassol, Cyprus., 2016.
13. **Lehmann**. Bio-extrusion. *Lehmann Maschinenbau GmbH* . [En ligne] 2011. <http://www.lehmann-maschinenbau.de>.
14. **Carrere, H., Antonopoulou, G., Affes, R., Passos, F., Battimelli, A., Lyberatos, G., and Ferrer, I**. Review of feedstock pretreatment strategies for improved anaerobic digestion: From lab-scale research to full-scale application. *Bioresource Technology*. 2016, Vol. 199, 386-397.
15. **AFSSA** . *Bonnes pratiques de fabrication de l'ensilage pour une meilleure maîtrise des risques sanitaires*. s.l. : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments, 2004.
16. *Principes de base de l'ensilage*. **Demarquilly, C**. 1973, Fourrages n°56, pp. 15-26.
17. *Additifs biologiques pour l'ensilage : comment ça marche ?* **Crocq, Gilles**. s.l. : Arvalis Institut du végétal, 2014. Espace des fourrages.
18. **Vignau-Loustau, Laurent et Huyghe, Christian**. *Stratégies fourragères*. s.l. : France Agricole, 2008.

19. **P., Mc Donald, A.R., Henderson et Heron, S.I.E.** *The biochemistry of silage (2nd Edition)*. s.l. : Chalcombe Publications , 1991. 13 Highwoods Drive, Marlow Borton, Marlow Bucks SL7 3PU.
20. **Dulphy, J.P. et Andrieu, J-P.** *Bilan de conservation des ensilages d'herbe*. s.l. : Bulletin technique du C.R.Z.V. de Theiz n°25, 1976. 33-34.
21. **Leduc, Régent et Fournier, Alain.** *L'ensilage dans l'alimentation des ruminants*. s.l. : Conseil des productions végétales du Québec inc.: colloque sur les plantes fourragères, 1998.
22. **INERIS.** Direction Générale de la Prévention des Risques. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. *Directive IED*. [En ligne] 11 mai 2010. http://ied.ineris.fr/directive_ied.
23. **Daumer, Marie-Line, Beline, Fabrice et Guiziou, Fabrice.** *Traitement biologique des lisiers de porcs en boues activées*. s.l. : Cemagref, 2005.
24. *Communication personnelle.* **Béline, F.** s.l. : Cemagref, 2004.
25. **Guillot, François, et al.** Lisiers de bovins: réduire les odeurs par micro-aération. s.l. : Chambre d'agriculture Rhône Alpes, 2006.
26. **Assessorato Agricoltura, Risorse naturali e Protezione civile.** Réduction de l'impact environnemental des effluents d'élevage et des fromageries de montagne par de nouvelles techniques durables. 2005.
27. **FCSI.** *Brochure Frankvitfoss*. s.l. : Active NS, 2014.
28. **Laboratoires Hygéfac.** Azofac la garantie. *L'innovation technologique pour le développement durable*. 2007.
29. **Pouech, Philippe, et al.** *Etude de caractérisation des fumiers de cheval issus de centres équestres afin d'aider à la décision sur les possibilités de valorisation*. s.l. : FIVAL, 2009.
30. **Journal officiel de l'Union Européenne.** *Décision d'exécution (UE) 2017/302 de la commission du 15 février 2017 établissant les conclusions sur les meilleures techniques disponibles (MTD), au titre de la directive 2010/75/UE du Parlement européen et du Conseil, pour l'élevage intensif de volaill.* s.l. : notifiée sous le numéro C (2017) 688, 15 février 2017.

6. Annexes

Annexe 1 : Liste des centres et laboratoires pour l'analyses des matières à méthaniser et des digestats

Liste des centres réalisant des tests de potentiel méthane (liste non exhaustive)

Centres de recherche	Adresse	CP Ville	Tel.	Site / mail
APESA	Site Cap Ecologia - av Joliot Curie -	64230 Lescar	05 59 81 45 42	https://valorisation.apesa.fr/ technologies@apesa.fr
PROVADEMSE - INSAVALOR	66, boulevard Niels Bohr. Bâtiment C.E.I. 1 Campus LyonTech - La Doua	69100 Villeurbanne	04 72 43 83 86	https://www.provademse.com contact@provademse.com
CRITT GPTE INSA de Toulouse	135 avenue de Rangueil	31077 Toulouse Cedex 04	05 61 55 97 57	critt@ensiacet.fr
Gestion Environnementale et traitement biologique des déchets (GERE), IRSTEA de Rennes	Centre de Rennes 17 Avenue de Cucillé CS 64427	35044 Rennes	02 23 48 21 21	http://www.irstea.fr/linstitut/nos- centres/rennes
INRA Transfert Environnement	Avenue des Etangs	11100 Narbonne	04 68 46 64 32	contact@it-e.fr www.montpellier.inra.fr/it-e
Wessling	40 rue du Ruisseau	38070 Saint- Quentin- Fallavier	04 74 99 96 22	http://fr.wessling-group.com/fr/ Robin.TJampens@wessling.fr

Liste des laboratoires pour l'analyse de la composition biochimique (liste non exhaustive)

Laboratoires	Adresse	CP Ville	Tel.	Site / mail
Aurea	1, rue Samuel Champlain ZI Chef de Baie	17074 La Rochelle	01 44 31 40 40	contact@aurea.eu - www.aurea.eu
LDAR	Pôle du Griffon 180 rue Pierre Gilles de Gennes Barenton Bugny	02007 Laon	03 23 24 06 63	fmarcovecchio@cg02.fr http://www.aisne.com
Eurofins Analyses pour l'Environnement France	5, rue d'Otterswiller	67700 Saverne	03 88 02 15 69	environnement@eurofins.com www.eurofins.fr/env
Laboratoires des Pyrénées et des Landes	Rue des Écoles	64150 Lagor	05 59 60 23 85	http://www.labopl.com/
Inovalys	18 bd de Lavoisier CS 20943	49009 Angers Cedex 01	02 51 85 44 44	contact@inovalys.fr http://www.inovalys.fr/
Wessling	40 rue du Ruisseau	38070 Saint- Quentin- Fallavier	04 74 99 96 22	http://fr.wessling-group.com/fr/ Robin.TJampens@wessling.fr

Annexe 2 : Extrait des conclusions sur les Meilleures Techniques Disponibles (MTD) pour l'élevage intensif de volailles et de porcs (30).

Les préconisations pour le stockage des matières solides et liquides générées par l'élevage intensif de volailles et de porcs sont présentées ci-après.

Afin de réduire les émissions atmosphériques d'ammoniac provenant d'une fosse à lisier, la MTD consiste à appliquer une combinaison des techniques ci-dessous (MTD 16 sur les émissions dues au stockage du lisier) :

	Technique	Applicabilité	Description
a	Conception et gestion appropriées de la fosse à lisier, par une combinaison des techniques suivantes:		
	1. réduction du rapport entre la surface d'émission et le volume de la fosse à lisier;	N'est pas nécessairement applicable d'une manière générale aux fosses existantes. Les fosses à lisier extrêmement hautes peuvent ne pas être applicables du fait des coûts accrus et des risques pour la sécurité.	Pour les fosses à lisier rectangulaires, le rapport hauteur/surface équivaut à 1:30–50. Pour les fosses circulaires, le dimensionnement favorable est obtenu avec un rapport hauteur/diamètre de 1:3 à 1:4. Il est possible d'augmenter la hauteur des parois latérales de la fosse à lisier.
	2. réduire la vitesse du vent et les échanges d'air à la surface du lisier en maintenant un plus faible niveau de remplissage de la fosse;	N'est pas nécessairement applicable d'une manière générale aux fosses existantes.	L'augmentation de la revanche (la distance entre la surface du lisier et le bord supérieur de la fosse) de l'ouvrage de stockage à l'air libre procure un effet pare-brise
	3. réduire le plus possible l'agitation du lisier.	Applicable d'une manière générale.	Maintenir l'agitation du lisier au minimum. Cette pratique implique de: — remplir la fosse au-dessous du niveau de la surface; — décharger le lisier au plus près de la base de la fosse; — éviter le mélange et la circulation inutiles du lisier (avant vidange de la fosse).
b	Couvrir la fosse à lisier. À cet effet, il est possible d'utiliser une des techniques suivantes:		
	1. couverture rigide;	N'est pas nécessairement applicable aux unités existantes en raison de considérations économiques et de contraintes structurales pour supporter la charge supplémentaire.	Toit ou couvercle constitué de béton, de panneaux de fibres de verre ou de feuilles de polyester, de forme plate ou conique, appliqué sur les cuves et silos en béton ou en acier. Ce toit est fixé de manière solide et étanche afin de réduire le plus possible les échanges d'air et d'empêcher la pénétration de la pluie et de la neige.
	2. couvertures souples;	Les couvertures souples ne sont pas applicables dans les régions où les conditions météorologiques sont susceptibles de les endommager.	Toit de tente: couverture constituée d'un mât central à l'extrémité duquel partent des rayons. Une bâche en tissu est tendue sur les rayons et fixée par brides sur le rebord de la fosse. Le nombre d'ouvertures non couvertes est limité au minimum. Couverture en dôme: couverture composée d'une armature bombée installée sur les fosses rondes à l'aide de pièces en acier et de raccords vissés. Couverture plate: couverture constituée d'un matériau composite

	Technique	Applicabilité	Description
	3. couvertures flottantes, telles que: <ul style="list-style-type: none"> - balles en plastique; - matériaux légers en vrac; - couvertures souples flottantes; - plaques géométriques en plastique; - couvertures gonflables; - croûte naturelle; - paille. 	Les balles en plastique, les matériaux légers en vrac et les plaques géométriques en plastique ne sont pas applicables aux lisiers qui croûtent naturellement. L'agitation du lisier lors du brassage, du remplissage et de la vidange peut exclure l'utilisation de certaines matières flottantes qui sont susceptibles d'entraîner une sédimentation et une obstruction des pompes. La formation naturelle d'une croûte n'est pas nécessairement applicable dans les régions à climat froid et/ou au lisier à faible teneur en matière sèche. La formation naturelle d'une croûte n'est pas applicable aux lagunes dans lesquelles le brassage, le remplissage et/ou le déversement du lisier rendent la croûte naturelle instable.	souple autoporteur maintenu par des chevilles sur une structure métallique. Extraits de la description des couvertures flottantes : Croûte naturelle Une croûte peut se former à la surface du lisier. Cette croûte a une teneur suffisante en matières sèches (MS) (au moins 2 %), selon la nature des éléments solides du lisier. Pour être efficace, cette croûte doit être épaisse; elle ne doit pas être altérée et doit couvrir toute la surface du lisier. La fosse est remplie par le bas, au-dessous du niveau de la surface, une fois la croûte formée, afin d'éviter de la briser. Couvertures souples flottantes Les couvertures flottantes en plastique (toiles, bâches, films, par exemple) reposent sur la surface du lisier. Des flotteurs et des tubes permettent de maintenir la couverture en place tout en conservant un espace vide au-dessous. Cette technique peut être combinée avec des structures et éléments stabilisateurs afin de permettre les mouvements verticaux. Il est nécessaire de ventiler et d'éliminer l'eau de pluie qui s'accumule en surface.
c	Acidification du lisier.	Applicable d'une manière générale	De l'acide sulfurique est ajouté au lisier afin d'abaisser le pH à environ 5,5 dans la fosse à lisier. Le système de traitement est totalement automatisé. Avant (ou après) épandage sur sols acides, l'addition de chaux peut s'avérer nécessaire pour neutraliser le pH du sol.

Des MTD sont préconisées au niveau du stockage des effluents d'élevage solides afin de :

- réduire les émissions atmosphériques d'ammoniac résultant du stockage des effluents d'élevage solides (MTD 14),
- éviter ou, si cela n'est pas possible, de réduire les émissions dans le sol et les rejets dans l'eau résultant du stockage des effluents d'élevage solides (MTD15).

Les MTD consistent à appliquer une ou plusieurs des techniques ci-dessous

Technique	Applicabilité	Description
Stocker les effluents d'élevage solides séchés dans un hangar	Applicable d'une manière générale	Le hangar est généralement une construction simple dotée d'un sol imperméable et d'un toit, d'une ventilation suffisante pour éviter des conditions anaérobies et d'une porte d'accès pour le transport. Les effluents d'élevage de volailles séchés (par exemple, la litière des poulets de chair et des poules pondeuses, les fientes de poules pondeuses séchées recueillies sur les tapis de collecte) sont transportés par des tapis ou des chargeurs frontaux, depuis le bâtiment d'hébergement jusqu'au hangar où ils sont entreposés pendant une longue période sans risque de ré humidification.
Utiliser un silo en béton pour le stockage des effluents d'élevage solides	Applicable d'une manière générale	Dalle de fondation en béton imperméable à l'eau, pouvant être complétée de murs sur trois côtés et d'une toiture, par exemple toit au-dessus de la fumière, plastique anti UV, etc. Le sol est incliné (pente de 2 %, par exemple) vers un canal d'évacuation avant. Les fractions liquides et tout jus d'écoulement dû au ruissellement des eaux de pluie sont recueillis dans une fosse en béton étanche avant d'être pris en charge.
Stocker les effluents d'élevage solides sur une aire imperméable équipée d'un système de drainage et d'un réservoir de collecte des jus d'écoulement	Applicable d'une manière générale	Le dispositif de stockage est équipé d'un sol imperméable plein, d'un système de canaux d'écoulement reliés à un réservoir pour la collecte des fractions liquides et de tout jus d'écoulement dû au ruissellement des eaux de pluie.
Choisir une installation de stockage d'une capacité suffisante pour contenir les effluents d'élevage pendant les périodes durant lesquelles l'épandage n'est pas possible	Applicable d'une manière générale	Les périodes durant lesquelles l'épandage d'effluents d'élevage est autorisé dépendent de la législation et des conditions climatiques locales, etc.; il faut donc disposer d'une zone de stockage de capacité appropriée. La capacité de stockage disponible permet également d'adapter les périodes d'épandage en fonction des besoins en azote des cultures.
Stocker les effluents d'élevage solides en tas au champ, à l'écart des cours d'eau de surface et/ou souterrains susceptibles de recueillir le ruissellement	Uniquement applicable aux tas au champ temporaires dont l'emplacement change chaque année.	Les effluents solides sont entassés directement sur le sol, au champ, pendant une durée limitée (quelques jours ou plusieurs semaines) avant leur épandage. Le lieu d'entreposage change au moins une fois par an et est situé aussi loin que possible des cours d'eaux superficiels ou souterrains.
Réduction du rapport entre la surface d'émission et le volume du tas d'effluents d'élevage	Applicable d'une manière générale.	Il est possible de compacter les effluents d'élevage ou d'utiliser un dispositif de stockage à trois parois.
Couverture des tas d'effluents d'élevage solides.	Applicable d'une manière générale lorsque les effluents solides sont séchés ou pré séchés dans le bâtiment d'hébergement. N'est pas nécessairement applicable aux effluents solides non séchés du fait d'ajouts fréquents au tas.	Il est possible d'utiliser des matériaux tels des bâches en matière plastique anti UV, de la tourbe, de la sciure ou des copeaux de bois. Les couvertures étanches réduisent les échanges d'air et la décomposition aérobie dans le tas d'effluents d'élevage, ce qui se traduit par une diminution des émissions dans l'air.



L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition Ecologique et Solidaire et du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

<https://www.ademe.fr/>

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



ILS L'ONT FAIT

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



EXPERTISES

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



FAITS ET CHIFFRES

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



CLÉS POUR AGIR

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



HORIZONS

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



SAM

BONNES PRATIQUES POUR LE STOCKAGE DE MATIERE AVANT METHANISATION

Les installations de méthanisation (à la ferme ou centralisées) reçoivent généralement plusieurs flux de matières, et ce d'une manière régulière ou ponctuelle.

La collecte et le transport des matières doivent être organisés pour réduire au maximum le délai entre la production et le traitement.

Ce guide a pour objectif d'aider les concepteurs, exploitants et spécialistes d'installations de méthanisation (à la ferme ou centralisées) dans la définition de stratégies de stockage des intrants.

Il présente les bonnes pratiques de stockage des intrants qu'ils soient solides ou liquides et détaille les méthodes de stockage en conditions aérées ou confinées (ensilage).

En fin de guide, des fiches techniques présentent de manière synthétique les pratiques de stockage à mettre en œuvre pour les fumiers, végétaux et lisiers.

Ce guide pratique a pour objectif d'aider les concepteurs, exploitants et spécialistes d'installations de méthanisation (à la ferme ou centralisées) dans la définition de stratégies de stockage des intrants.



www.ademe.fr

