



Biologie des digesteurs

Guide complet à destination des exploitants d'unités de méthanisation



**Guide réalisé pour le compte de l'ADEME Bourgogne
par S3D et APESA**

février 2014



SOMMAIRE

1- CONNAISSANCES SUR LE FONCTIONNEMENT DE LA BIOLOGIE D'UN DIGESTEUR.	3
2- CARACTERISATION ET SURVEILLANCE DES MATIERES ENTRANTES.....	8
3- ANALYSES NECESSAIRES POUR LES DIFFERENTES VALORISATIONS DU DIGESTAT	13
4- MATERIELS DE MESURE DISPONIBLES ET METHODES APPLICABLES	16
5- LES MESURES DE SUIVI DU DIGESTEUR.....	20
6- REGLEMENTATION.....	24

REMARQUE : Ce document donne des clés sur la prise en compte de la biologie des digesteurs et des paramètres qui peuvent influencer dessus. Il n'est pas exhaustif et pourra être complété avec des retours d'expériences d'installation et de suivi réalisé.

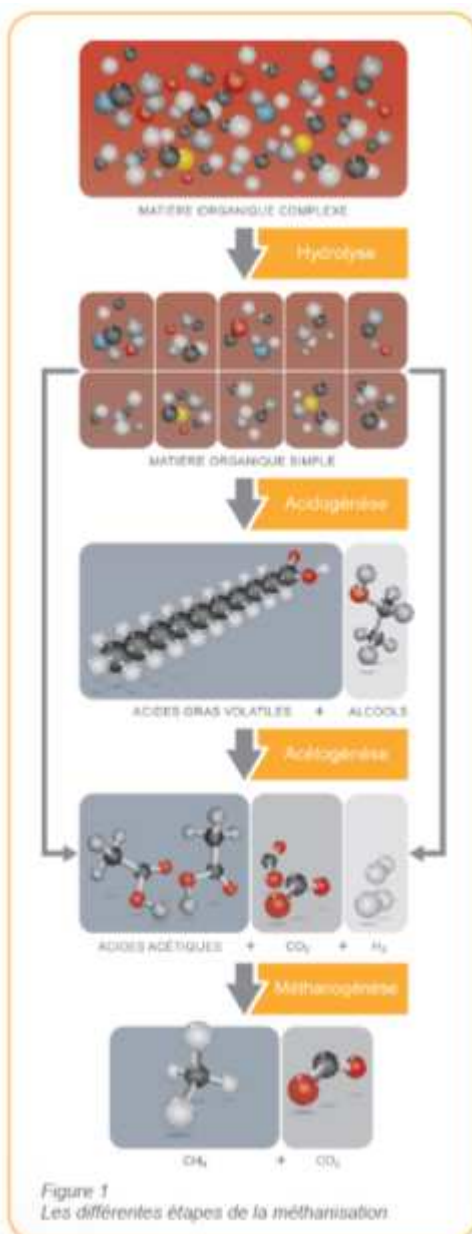
Commanditaire et coordination : ADEME Bourgogne (Bertrand AUCORDONNIER)

Rédaction : S3D (Audrey ELHABTI), APESA (Mathieu LALANNE)

1. Connaissances sur le fonctionnement de la biologie d'un digesteur

Etapes biologiques de la méthanisation

La méthanisation, ou digestion anaérobie, est un processus biologique de dégradation de la matière organique en un mélange gazeux constitué de méthane (CH_4) et de dioxyde de carbone (CO_2) appelé biogaz.



On distingue quatre étapes principales dans ce processus de dégradation :

- 1. L'hydrolyse :** réaction rapide réalisée avec un pH acide (entre 4,5 et 6,3) qui résiste à la présence d'oxygène ;
- 2. L'acidogénèse :** réaction rapide réalisée avec un pH acide (entre 4,5 et 6,3) inhibée par la présence d'oxygène ;
- 3. L'acétogénèse :** réaction lente réalisée avec un pH neutre (entre 6,8 et 7,5) inhibée par l' H_2 ;
- 4. La méthanogénèse :** réaction très lente réalisée avec un pH neutre (entre 6,8 et 7,5).

Cette suite de réactions biologiques fait intervenir plusieurs types de microorganismes. Les paramètres du milieu doivent permettre à ces bactéries de se développer correctement et assurer un équilibre entre les différentes étapes. En effet, chaque groupe de bactérie nécessite des conditions particulières pour se développer de manière optimale : gamme de pH optimal, tolérance ou non à la présence d'oxygène, sensibilité à l' H_2S , NH_3 , sels, antibiotiques,...

Les principaux problèmes biologiques

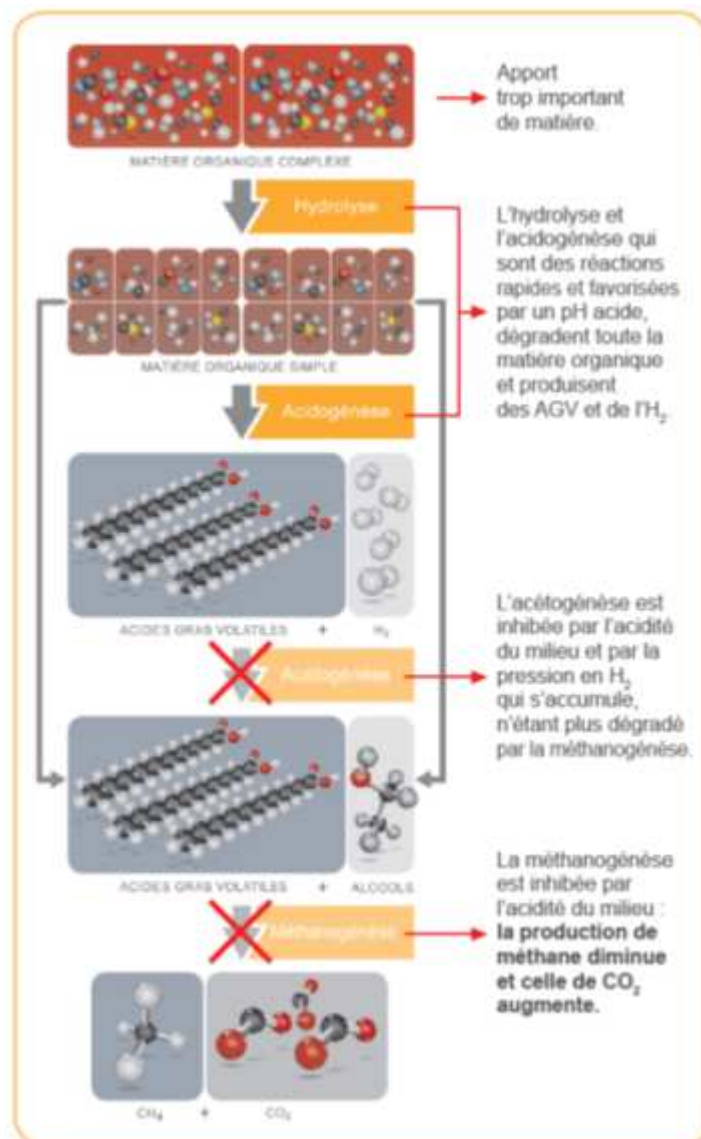
L'acidose

L'acidose peut être provoquée par :

- une **trop grande quantité de matières fermentescibles** introduites dans le digesteur, certaines matières entrantes sont plus rapidement hydrolysées que d'autres comme les matières riches en glucides et lipides (graisses, effluents agroindustriels, déchets GMS, etc.) ;
- une inhibition des bactéries acétogènes et méthanogènes par différentes substances : **H₂S**, **NH₃**, **sels**, **antibiotiques** et **désinfectants**...

L'acidose provoque une accumulation d'Acides Gras Volatils (AGV) dans le milieu, ce qui engendre une baisse du pH qui inhibe l'activité des bactéries et entraîne une baisse de production du biogaz.

Figure 2 : Processus de l'acidose



ACIDOSE : COMMENT LA REPÉRER ?

Les premiers symptômes sont :

- Augmentation de la pression partielle en H_2 ;
- Baisse de l'alcalinité (TAC) ;
- Accumulation des acides gras volatils et modification de la proportion entre acides (diminution de la présence d'acide acétique et augmentation des acides propionique, butyrique et valérique). L'acide propionique est le premier à s'accumuler donc le meilleur indicateur.

Les symptômes suivants sont :

- Baisse de la production de biogaz ;
- Baisse du CH_4 dans le rapport CH_4/CO_2 ;
- Déplacement de l' H_2S vers la phase gazeuse.

ACIDOSE : COMMENT RÉAGIR ?

- Stopper l'apport de substrats puis réévaluer la ration ;
- Diluer le mélange dans le digesteur avec une matière de type lisier pour augmenter le pouvoir tampon ;
- Ajouter du bicarbonate de sodium ($NaHCO_3$) afin de faire remonter le pH et augmenter le pouvoir tampon.

ACIDOSE : COMMENT LA PRÉVENIR ?

Bien maîtriser sa ration :

- Surveiller les **quantités de matières introduites** ;
- Calculer la **charge organique entrante**.

Être très vigilant pour tout nouvel intrant (présence d'inhibiteurs) :

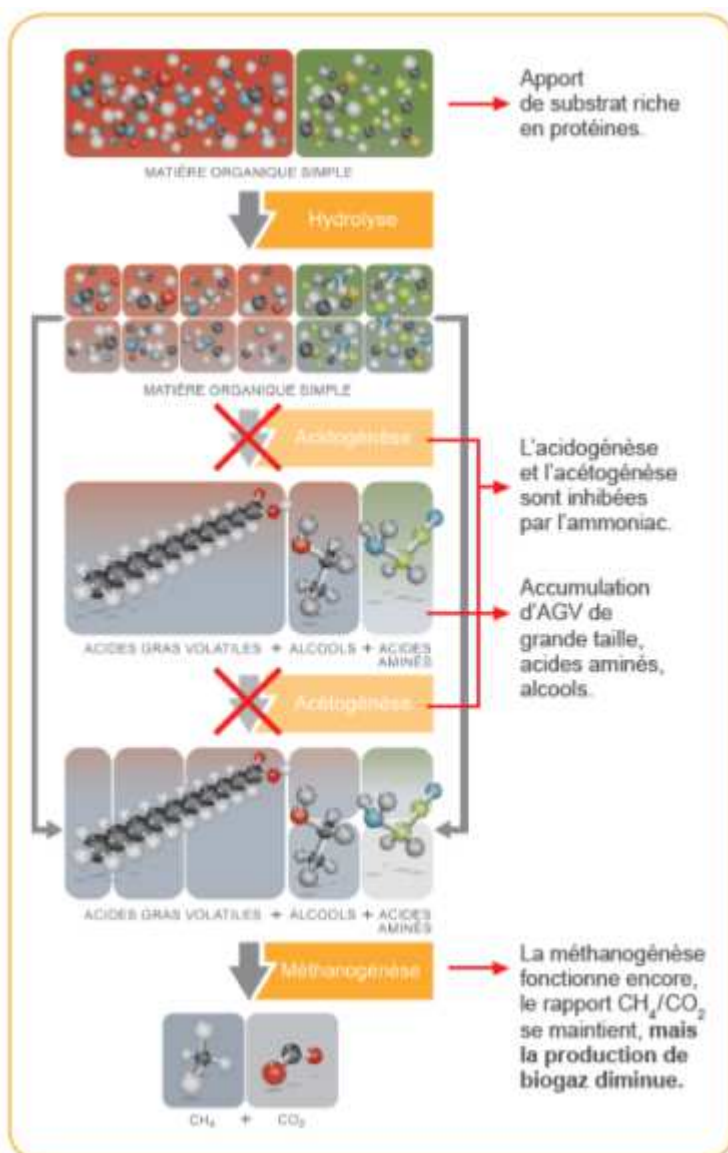
- **Colza, paille de colza, autres crucifères...** : Les substrats riches en acides aminés contenant du soufre peuvent être à l'origine d'une augmentation de la teneur en H_2S dans le digesteur ;
- **Recirculation de digestat liquide, produit riche en azote...** : La production d'ammonium dans le milieu est quant à elle liée à l'introduction de substrats riches en azote ;
- **Antibiotiques, désinfectants...** : L'inhibition peut également provenir de substances utilisées pour la conduite de l'élevage ou pour le nettoyage des bâtiments.

L'alcalose

L'alcalose provient d'un excès d'ammoniac dans le milieu, conséquence d'un apport de substrat trop riche en protéines. L'ammoniac entraîne une augmentation du pH et inhibe les bactéries acidogènes et acétogènes. Les produits d'hydrolyse s'accumulent : acides aminés, acides gras volatils, ...

L'alcalose est un **processus assez lent et qui ne bloque pas forcément entièrement les réactions et la production de biogaz**. Le milieu peut réussir à s'adapter, par contre cela engendre une perte de rendement, tout le potentiel méthanogène des substrats n'est pas exploité. Cette **diminution de performance peut inciter l'exploitant à augmenter les tonnages entrants, au risque de provoquer alors une acidose**.

Figure 3 : Processus de l'alcalose



ALCALOSE : COMMENT LA REPÉRER ?

- Augmentation de la concentration en NH₃ dans le digestat ;
- Augmentation du pH ;
- Augmentation des acides gras mais de longues chaînes ;
- Baisse de la production de biogaz mais maintien de la proportion CH₄/CO₂ ;
- Production possible de mousse.

ALCALOSE : COMMENT RÉAGIR ?

- Stopper l'apport de substrats riches en protéine ;
- Introduire des substrats moins riches en protéine et fortement fermentescibles pour relancer l'activité des bactéries.

ALCALOSE : COMMENT PRÉVENIR ?

Connaître la concentration en NH₃ de chaque substrat et mesurer si la limite n'est pas atteinte avec l'apport d'un nouveau substrat.

Autres problèmes biologiques

D'autres problèmes biologiques peuvent survenir, tels que l'intoxication à l' H_2S , à l'oxygène ou encore à d'autres contaminants (métaux lourds, antibiotiques, désinfectants...). D'autres problèmes peuvent également intervenir selon les propriétés physiques des substrats (substrats trop secs, trop flottants...).

1. EXCÈS DE H_2S :

Une accumulation de H_2S vient d'un excès de protéines dans la ration ce qui inhibe principalement l'acétogénèse et dans une moindre mesure la méthanogénèse.

COMMENT LA REPÉRER ?

- Augmentation des AGV de grande taille ;
- Augmentation de la pression en H_2 ;
- Baisse de la production de biogaz mais maintien de la proportion CH_4/CO_2 ;
- Augmentation de la concentration de H_2S dans le digestat (> 50 mg/l de digestat) et plus de 2 000 ppm dans le biogaz.

COMMENT RÉAGIR ?

- Stopper l'apport de substrats riches en protéines ;
- Introduire des substrats moins riches en protéines et fortement fermentescibles pour relancer l'activité des bactéries.

COMMENT PRÉVENIR ?

- Connaître la concentration en NH_3 de chaque substrat et mesurer si la limite n'est pas atteinte avec l'apport d'un nouveau substrat.

2. EXCÈS DE MÉTAUX LOURDS :

L'excès de métaux lourds provoque l'inhibition de la méthanogénèse entraînant une acidose. Les doses à respecter en métaux lourds sont de l'ordre de :

- Cu > 50 mg/l ;
- Zn > 150 mg/l ;
- Cr > 100 mg/l.

3. MANQUE DE MICRO-NUTRIMENTS :

Enfin, une carence en nickel (Ni) peut également entraîner une inhibition des bactéries méthanogènes, on constate alors une baisse de la production de méthane et une accumulation d'AGV dans le milieu, ce qui entraîne une baisse du pH et un risque d'acidose. Il est donc important de vérifier que les substrats utilisés apportent du nickel.

Cependant, il est important de noter que ce problème intervient surtout en Allemagne où les cultures énergétiques sont fortement utilisées comme substrat pour la méthanisation, or ces cultures sont généralement pauvres en Ni, d'où les carences observées.

2- Caractérisation et surveillance des matières entrantes

Des analyses sur les matières entrantes doivent être réalisées en amont du projet pour valider les hypothèses de composition, de dimensionnement et de rendement et ainsi sécuriser le projet. Pendant la période d'exploitation de l'unité, les analyses (réalisées sur le digesteur, sur le biogaz, sur les digestats) permettent de suivre son fonctionnement et donc d'adapter l'exploitation pour éviter les accidents biologiques, assurer une production maximale de biogaz et connaître les caractéristiques de digestat pour sa meilleure utilisation. Les analyses portant sur le digestat permettent d'adapter la quantité de digestat à apporter aux plantes afin d'être au plus près de leurs besoins.

Fréquence d'analyse

Des analyses d'intrants (pouvoir méthanogène et composition biochimique) ont été réalisées pendant la phase de montage du projet pour dimensionner les équipements et construire le bilan économique.

Pendant l'exploitation de l'unité, les analyses sont à faire en cas de changement d'un intrant (changement de fournisseur, changement de mode de stockage, nouvel intrant...) ou alors en cas de modification ou de problèmes de rendement du digesteur (baisse ou hausse de production de biogaz, augmentation des AGV...).

Attention à la méthode d'échantillonnage !

De la qualité de l'échantillonnage dépend la pertinence du résultat d'analyse. L'échantillon parfait n'existe pas. Le protocole d'échantillonnage doit toujours s'adapter au contexte et à la nature de l'échantillon. L'objectif est d'obtenir un échantillon le plus représentatif possible de l'effluent ou du déchet à tester. Des préconisations sur les modalités d'échantillonnage sont présentées en **annexe 1**.

Analyse de composition biochimique

Les analyses de composition biochimique peuvent être réalisées sur les intrants comme sur le digestat. Elles permettent de maîtriser la composition des intrants donc d'adapter le mélange entrant dans le digesteur et de connaître la composition exacte du digestat pour l'épandre en quantité optimale sur les différentes cultures. Les analyses doivent être confiées à un laboratoire compétant (habitué à travailler sur des déchets organiques solide) et respectant les normes d'analyses en vigueur.

Signalons que pour certaines démarches d'analyses (par exemple dans le cas où le digestat est normé ou destiné à l'homologation), le laboratoire devra également respecter certains protocoles spécifiques (exemple du programme 108 « Analyses des matières fertilisantes et supports de culture » dans le cadre d'une homologation d'un produit issu de digestat).

Les analyses habituelles sont les suivantes :

- **Matière sèche (MS) ou humidité**, pour les effluents liquides moins de 1% de matière sèche, on préférera une mesure de Matière En Suspension (MES) ;
- **Matière organique** (peut être également appelée perte au feu, taux de cendre, matière sèche volatile). Pour les effluents liquides peu chargés on préférera une mesure de Demande Chimique en Oxygène (DCO) ;
- **pH** ;
- **Azote total**, Ammoniaque, Phosphore, Potassium.

Ces analyses peuvent être complétées par d'autres paramètres suivants les besoins (réflexion sur la qualité du digestat, intrant potentiellement riche en ammoniaque...) : Ammoniaque, Phosphore, Potassium, Souffre, Calcium, Sodium, ...

Les laboratoires proposent la plupart du temps des « bouquets » analytiques comprenant le regroupement de ces principaux paramètres (analyse agronomique ou biochimique plus ou moins complète).

Dans certains cas lié soit à une mesure réglementaire, soit à une exigence de qualité, il pourra être également nécessaire de procéder à des mesures concernant certains indésirables (souvent à l'état de traces) : éléments métalliques, composés organiques, inertes ou à des analyses microbiologiques (protocole d'échantillonnage spécifique à respecter).

Test de potentiel méthane (ou Biochemical Methane Potential BMP)

Selon le produit étudié, la quantité totale de biogaz produite peut varier en fonction de la composition de la matière organique. Des différences plus ou moins importantes peuvent exister selon les produits dans la composition du biogaz et notamment dans la teneur en méthane qui impacte directement sur le pouvoir calorifique et donc sur l'énergie disponible valorisable. Ainsi la production de biogaz (quantité et qualité) et de méthane du mélange introduit dans le digesteur peut être estimée à partir des résultats des tests de potentiel méthanogène réalisés pour chaque matière entrante. Un test de potentiel méthanogène du mélange entrant peut également être réalisé, permettant d'obtenir un résultat s'approchant au mieux des conditions réelles. En effet, des synergies ou des inhibitions peuvent être constatées entre certains substrats.

Le principe d'un test de potentiel méthanogène et un résultat type de test de potentiel méthanogène sont présentées en **annexe 2**.

Les tests de potentiel méthanogènes sont intéressants lors de l'étude de faisabilité d'un projet pour avoir une meilleure connaissance du potentiel énergétique des intrants. Cependant, ces tests restent théoriques car réalisés en condition de laboratoire. Ils permettent de déterminer la production maximale de biogaz d'un substrat mais ne simule pas les conditions réelles d'une installation. Pour cela, un test en réacteur pilote peut être effectué permettant de créer les conditions réelles de l'installation (technique, agitation, temps de séjour, ...) et donc de dégager une valeur plus exacte de la production énergétique. Par contre, ces tests sont plus coûteux que des simples tests de potentiel méthanogène.

Préconisations sur la gestion des matières entrantes

La collecte des matières premières doit être organisée au mieux afin de limiter le temps de stockage sur le site de production. Les matières doivent être introduites dans le digesteur le plus rapidement possible après production afin de :

- Limiter la perte de matière organique et donc de potentiel biogaz ;
- Limiter les nuisances liées à leur stockage (odeurs...) ;
- Réduire les infrastructures nécessaires à leur stockage (réduction des coûts).

Cependant, le mélange entrant dans le digesteur doit être relativement homogène (en qualité et en quantité) dans le temps afin d'assurer une stabilité des paramètres du digesteur et donc de la production de biogaz. Selon les caractéristiques de production des matières premières, celles-ci doivent parfois être stockées pour pouvoir les introduire régulièrement dans les digesteurs.

Modalités de stockage des matières

Le stockage doit être adapté à l'état de la matière (liquide, pâteux, solide, sec, poussières) et à la durée de stockage prévisionnelle. Dans la mesure du possible, les produits doivent être placés à l'abri des intempéries afin de conserver leurs propriétés initiales.

Dans le cas d'un stockage de produit liquide, une agitation peut être mise en place afin d'homogénéiser le produit et limiter sa sédimentation. Les produits solides doivent être stockés dans un endroit facile d'accès et à proximité de la trémie (ou du fond mouvant) permettant l'incorporation des matières dans le digesteur, afin de faciliter et de limiter les opérations de manutention. Les produits pâteux doivent eux, être stockés de manière à rester pompables (par chauffage par exemple) pour une incorporation facile dans le digesteur

A noter que plus la durée de stockage sera longue, plus la matière organique va subir des modifications et/ou des pertes impactant la production de biogaz dans le digesteur. En cas de production de jus pendant les périodes de stockage, une récupération de ces jus doit être mise en place.

Les stockages de matières entrantes et de digestats doivent être bien différenciés et si possible pas trop proches l'un de l'autre afin d'éviter une contamination croisée.

Prétraitement des matières

De nombreux paramètres (température et temps de séjour du digesteur, outils mis en place pour l'incorporation des matières, agitation, propriétés des matières premières ...) influent sur la nécessité ou non de pré-traiter les matières premières. De manière générale si la matière organique est facilement accessible au consortium bactérien réalisant la digestion, les matières peuvent être introduites en l'état.

Un pré-traitement est recommandé dans le cas où :

- la matière organique se dégrade très rapidement lors de son stockage (tonte, céréales) ;
- la matière organique n'est pas facilement accessible et dégradable (fumier très pailleux) ;
- les matières entrantes sont constituées de « longues fibres emmêlées » (fumier) et susceptibles de former des couches flottantes à la surface du digesteur, empêchant le dégazage du biogaz ;
- les matières entrantes ont tendance à sédimenter.

Les matières liquides peuvent être introduites dans le digesteur sans pré-traitement particulier (excepté si elles doivent être hygiénisées). Les matières solides sont souvent pré-traitées, soit dans un premier temps pour assurer leur conservation (tontes, céréales,...), soit dans un deuxième temps pour s'assurer qu'elles seront facilement dégradables par les bactéries méthanogènes et qu'elles ne perturberont pas le fonctionnement du digesteur. Les pré-traitements suivants peuvent être appliqués : ensilage, séchage et broyage.

Pour les productions saisonnières, telles que les tontes par exemple, il sera nécessaire de les ensiler afin d'éviter la perte de matière organique. Cette technique consiste à stocker la matière végétale en tas compact et couvert afin que des conditions anaérobies s'installent. Une acidification de la matière intervient alors par l'action des bactéries hydrolytiques et acidogènes. La teneur en acides augmente et le pH diminue bloquant ainsi les réactions de dégradation de la matière organique. Cette technique permet donc de conserver une grande partie de la matière organique de l'intrant. Cette technique nécessite une granulométrie faible (broyage éventuel), des taux d'humidité, de sucres initiaux suffisants pour permettre un démarrage de l'acidogénèse et n'est donc pas adaptée à toutes les matières.

A noter que la matière sera donc chargée en acides lors de son introduction dans le digesteur, il faudra donc veiller à ce que cela ne déséquilibre par le système. Par ailleurs, les premières étapes de la méthanisation étant déjà réalisées (hydrolyse et acidogénèse), les cinétiques sont accélérées. Afin d'éviter les nuisances liées à cette pratique, une collecte des jus doit être prévue (aire bétonnée et réseau de récupération).

Le séchage des matières peut également être réalisé mais a un coût énergétique élevé. Une fois parfaitement sèche, la matière ne subit plus de dégradation de sa matière organique. Les nuisances en sont également réduites. Cependant, des poussières peuvent alors apparaître, le stockage devra donc être adapté.

Les matières solides, comme les fumiers par exemple, doivent dans la plupart des cas être broyées avant incorporation dans un digesteur du type infiniment mélangé. Le broyage permet « d'ouvrir » les matières et de les rendre plus facilement assimilables par les bactéries méthanogènes. Il existe différents types de broyage (broyeur à marteau, broyeur à boulet,...) adaptés aux différentes matières solides. Le broyage est un point de contrôle important dans le suivi d'une installation, car il permet l'introduction d'un substrat facilement dégradable dans le digesteur et limite l'apparition de couches flottantes.

A noter également, que l'apport de matière solide dans un digesteur (fumier, ensilage,..) entraîne régulièrement l'apport de cailloux. Il est conseillé de mettre en place un récupérateur de cailloux en amont du broyage, ou de prévoir un broyeur suffisamment robuste pour qu'il puisse broyer ces cailloux. Cependant, une fois les cailloux broyés ils se retrouvent dans le digesteur, sédimenter et entraînent une diminution du volume de digestion, nécessitant une vidange (ou plusieurs) du digesteur durant la période d'exploitation.

Changement majeur d'alimentation en intrants

Pour différentes raisons, une unité de méthanisation aura nécessairement des changements de matières premières (nature, quantité, qualité) durant la durée de son exploitation. Un changement majeur d'alimentation, quel qu'il soit (ajout d'un nouvel intrant, suppression d'un intrant, baisse ou augmentation de l'alimentation, modification des proportions de la ration, ...) doit se faire progressivement afin de permettre au consortium bactérien responsable de la méthanisation de s'adapter au changement.

Par exemple, une augmentation de la charge organique se fera par palier de 0,5 kg de matière organique /m³. On procédera de la même manière pour les changements d'intrants. Une attention particulière sera portée dans le cas de modification des proportions du mélange, suivant les mélanges, des déséquilibres peuvent survenir induisant des modifications de la production de biogaz.

D'un point de vue réglementaire, les matières entrantes doivent être consignées dans un registre de suivi, l'administration peut à tout moment demander à vérifier le cahier de suivi des intrants. Ce suivi doit leur être transmis tous les ans. C'est pourquoi il faut les tenir informer de l'apport de tout nouvel intrant ou d'une augmentation substantielle du tonnage d'un intrant afin de se mettre en conformité. Ainsi tout nouvel intrant (non prévu dans l'arrêté ICPE) doit être signalé au service instructeur du dossier ICPE (DREAL ou DDCSPP selon le cas) ainsi qu'à la DDCSPP si le nouvel intrant est un sous produit animal (effluent d'élevage, sang, graisse, ...). Dans le cas où le tonnage d'un intrant est supérieur à ce qui est autorisé dans l'arrêté ICPE, il faut également prévenir le service instructeur (et la DDCSPP si c'est un sous produit animal).

Si le projet est soumis à déclaration ou à enregistrement il faudra impérativement respecter les tonnages journaliers réglementaires d'introduction à savoir moins de 30 T/j et moins de 50 T/j respectivement, sous peine de voir l'unité changer de régime.

3- Analyses nécessaires pour les différentes valorisations du digestat

La digestion des matières introduites en méthanisation conduit à produire un résidu organique appelé digestat. Ce résidu contient peu de carbone, celui-ci ayant été extrait du mélange pour produire le biogaz (CH₄, CO₂). On y retrouve en revanche les autres éléments présents dans les matières entrantes. L'azote introduit sous forme organique dans le mélange entrant est partiellement minéralisé. Le digestat est considéré comme un déchet et doit être épandu selon un plan d'épandage défini. Il peut être valorisé tel quel ou subir des post-traitements avant d'être valorisé.

Modalités de gestion du digestat

Le post-traitement le plus fréquemment utilisé est la **séparation de phase**. Il existe plusieurs techniques : presse à vis, centrifugation, filtre à presse...

La phase liquide a un taux de matière sèche très faible (<5%) et concentre la majorité de l'azote ainsi que du potassium. On retrouve dans la phase solide la majorité du phosphore, des éléments secondaires (Ca, Mg, S), ainsi que la majorité des métaux (Fe, Al, Cu, Zn). Cette séparation peut donc permettre de gérer au mieux les éléments nutritifs.

Le **séchage du digestat** permet de réduire son volume, d'obtenir un produit stable et facile à transporter. Il permet également une hygiénisation plus ou moins efficace en fonction de la température et du temps de séchage. En revanche, la majorité de l'azote se volatilise lors du séchage, conduisant à un produit ayant une valeur fertilisante azotée faible.

Le **chaulage du digestat** peut être pratiqué pour obtenir un produit stabilisé, avec une réduction des organismes pathogènes, notamment des Salmonella. Il est bénéfique en cas d'épandage sur des sols acides, permettant de remonter le pH du sol.

Enfin, le **compostage du digestat** avec un substrat carboné (déchets verts,...) permet d'obtenir un amendement stable, de diminuer la salinité et le pH, et d'améliorer sa compatibilité avec les plantes et de normer le digestat.

Deux possibilités permettent au digestat d'accéder au statut de produit : une normalisation ou une homologation. Pour être normalisé, le digestat devra impérativement être composté et pourra ainsi être encadré par l'une des deux normes suivantes : la NF 44 051 « amendement organique » et la NF 44 095 « compost de boue ». L'homologation nécessite le dépôt d'un dossier auprès de l'ANSES prouvant entre autre l'innocuité et les qualités fertilisantes du digestat, ce dossier doit être accompagné de nombreux essais et analyses. Ces trois possibilités placent le digestat dans des cadres réglementaires différents. Les analyses à réaliser sont différentes selon le cadre réglementaire.

Quel que soit le mode de valorisation, une analyse des paramètres classiques suivants est nécessaire :

- Matière Sèche totale (% MS) ;
- Matière organique (% MO) ;
- pH ;
- Macroéléments (N total, N organique, N ammoniacal, P₂O₅ total, K₂O total, CaO, MgO, SO₃) ;
- Rapport C/N.

Ces paramètres permettent de connaître la valeur agronomique du digestat et donc d'adapter l'apport aux besoins des plantes, quel que soit le mode de valorisation. L'idéal est de réaliser cette analyse juste avant épandage afin de connaître la composition du digestat épandu.

Dans le cas d'un plan d'épandage, les éléments traces métalliques (cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc) doivent être mesurés en plus des paramètres classiques, à minima la première année puis au rythme fixé par l'arrêté ICPE, afin notamment de quantifier l'impact des digestats sur les sols.

Dans l'optique de normalisations, d'autres analyses peuvent être demandées (selon la norme mais à minima : éléments traces métallique, HAP, salmonella, œufs d'helminthes viables, inertes).

Dans le cas de dossier d'homologation, des analyses plus poussées sont demandées, suivant les intrants et le procédé. On retrouvera l'analyse agronomique de base à laquelle peuvent s'ajouter des analyses de métaux, des analyses microbiologiques...

14

Voici par exemple une liste d'analyses demandées par l'ANSES dans un dossier :

- Matière Sèche totale (% MS) ;
- Matière organique (% MO) ;
- Macroéléments (N total, N organique, P₂O₅ total, K₂O total, CaO, MgO, SO₃) ;
- Rapport C/N ;
- Microéléments totaux (B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn) ;
- Autres éléments (Na₂O, Cl) ;
- Éléments Traces Métalliques totaux (As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Se) ;
- Analyses microbiologiques : Micro-organismes aérobies à 30°C (par g) ; Entérocoques (par g) ; Escherichia coli (par g) ; Clostridium perfringens (dans 1 g) ; Salmonella (dans 1g) ; Staphylococcus aureus ou à coagulase + (par g) ; Levures et moisissures avec confirmation d'Aspergillus ; Œufs et larves de nématodes (dans 1g, ou dans 25 g) ; Pythium.

Les analyses sur le digestat brut sont à réaliser par un laboratoire accrédité COFRAC notamment sur le programme 108 « analyse des matières fertilisantes et supports de culture ».

D'autres analyses peuvent être menées pour caractériser l'intérêt agronomique et l'impact du digestat sur la fertilité des sols.

Test/Analyse	Description
Test Cresson	Evaluation de l'innocuité du produit liée à son niveau de maturité (évolution de la matière organique)
AT4	Niveau de respirométrie, reflète le niveau de stabilité du produit (vis-à-vis de l'évolution du carbone)
Test d'émergence et de croissance foliaire	Permet d'évaluer l'innocuité du produit vis-à-vis de l'émergence et de la croissance foliaire des plantes (mono et dicotylédone) dans des conditions proches des conditions normales d'utilisation.
Test de croissance racinaire	Permet d'évaluer l'innocuité du produit sur la croissance racinaire des plantes (mono et dicotylédone)
Test de biodisponibilité de l'azote	Ce test simplifié permet d'apprécier la fourniture d'azote rapidement disponible et le coefficient apparent d'utilisation.

Proposition d'analyses pour évaluer l'impact du digestat sur les sols

4- Matériels de mesure disponibles et méthodes applicables

L'instrumentation initialement prévu sur une unité de méthanisation lors de sa construction relève principalement d'une réponse aux besoins du constructeur en matière de contrôle commande. Divers capteurs sont donc installés et raccordés aux automates permettant ainsi la mise en œuvre des régulations par pilotage des actionneurs. A titre d'exemple, des sondes transmettent la température des digesteurs à un automate qui agit en conséquence sur une vanne ou une pompe pour maintenir cette température à une consigne donnée. De fait, le niveau d'instrumentation présente une forte variabilité d'un site à un autre en fonction du niveau d'automatisation proposé par le constructeur et de la taille de l'installation.

Passé ce constat, il est à noter que la réalisation d'un suivi biologique et énergétique détaillé nécessite des outils de métrologie complémentaires. Sur une installation de petite puissance par exemple, le pH du digesteur n'entre pas dans les paramètres pilotés par l'automate. Il n'en reste pas moins une donnée incontournable pour le suivi de l'état de santé du milieu bactérien. En conséquence, l'exploitant peut être amené à ajouter du matériel de mesure pour accéder à des paramètres complémentaires voire modifier des équipements pour disposer de fonctionnalités supplémentaires.

Les variables à prendre en compte pour un suivi d'exploitation complet sont de diverses natures. De manière non exhaustive, on répertorie :

- Les mesures de **conditions extérieures** : température ambiante, pluviométrie, etc ;
- Les mesures de **bilan matière solide/liquide** : volumes ou masses d'intrants incorporés, de digestat brut produit ou de digestat séché, etc ;
- Les mesures de **suivi digesteur** : température digesteur, pH, FOSTAC, composition du biogaz (CH_4 , CO_2 , H_2S , O_2), temps d'agitation, etc ;
- Les mesures de **suivi énergétique** : quantité de biogaz produite, d'électricité vendue, de chaleur valorisée, de biométhane vendu, etc ;
- Les mesures de **suivi économique et social** : temps homme, consommation fioul, etc.

Les mesures de conditions extérieures

Le suivi et donc la mesure des conditions extérieures se résumant au relevé des conditions météorologiques. La température ambiante impacte directement le maintien en température des différents équipements dont les digesteurs et influence donc la consommation thermique de ces derniers. La pluviométrie peut quant à elle être responsable de l'évolution de l'humidité d'un intrant stocké en extérieur et par conséquent du taux de matière sèche dans le digesteur.

Selon les besoins, ces données sont récupérables de plusieurs manières. Une station météo de particulier doublé d'un pluviomètre conique constituera la solution la plus économique. Des solutions professionnelles embarquent des équipements plus pointus à pluviométrie automatique et permettent l'exportation des données vers différents outils informatisés. Enfin, de nombreux sites internet proposent gratuitement la consultation de relevés provenant de nombreuses stations météo ou sous réserve d'abonnement leur transmission automatique sur boîte email ou serveur dans certains cas.

Les mesures de bilan solide/liquide

Le suivi des performances biologiques et économiques d'une installation de méthanisation nécessite de connaître les quantités de matière qui y transitent, à savoir les volumes ou masse de chaque intrant incorporé au digesteur et de digestat produit, séché ou exporté. Ces matières se présentent selon leur nature sous forme solide (fumier, céréales, fraction solide du digestat, etc.) ou liquide (lisier, graisse, fraction liquide du digestat, etc.), caractéristique dont découle le moyen de mesure associé.

Cas des solides

La mesure des quantités de solide peut être traitée en volume ou en masse. Pour les installations de moyenne et forte puissance, bien souvent le constructeur fournit les équipements de métrologie, ces derniers étant intégrés aux **trémies de d'incorporation**. L'exploitant a alors accès à la pesée via ce système, soit par lecture directe sur l'organe d'affichage, soit par voie informatique lorsque celui-ci est raccordé à une supervision. Pour des installations de plus petites dimensions, le chargement des digesteurs en intrant solide est généralement réalisé au godet, directement dans les digesteurs dans le cas des unités en voie sèche ou au travers d'une fosse de prémélange dans le cas des unités en voie liquide. Deux moyens de mesure sont alors possibles :

- **Estimation volumique** : un simple comptage du nombre de godets chargés permet une bonne estimation des volumes entrants et sortants mais fait abstraction des éventuelles variations de densité du produit ;
- **Mesure massique** : l'ajout d'un peson sur l'engin de chargement autorise une mesure directe de la masse transportée et donc une précision accrue du bilan matière par rapport à l'estimation en volume.

Cas des liquides

La mesure des quantités de liquide peut également être traitée en volume ou en masse par différentes méthodes selon le niveau d'équipement et d'automatisation de l'installation :

- **Estimation volumique au temps de fonctionnement** : Dans le cas où l'incorporation des liquides est réalisée par pompage, l'estimation des volumes chargés est possible par la mesure du temps de fonctionnement de la pompe multiplié par le débit horaire appliqué. Cette méthode nécessite un étalonnage initial permettant de connaître le débit réel pour un produit donné. Elle ne permet pas de prendre en compte les variations éventuelles de ce débit en fonction de la viscosité du produit et reste donc peu précise.
- **Mesure par différence de niveau** : Les liquides étant stockés en cuves ou en fosses, la mesure du niveau de remplissage de ces équipements est un autre moyen d'estimer les volumes traités. Les équipements pouvant être mis en œuvre sont variés et dépendent notamment du type de produit, des matériaux de construction ou de la hauteur de liquide. Quelle soit optique, à flotteur, à ultrasons ou à contacts chaque technologie proposera une lecture de la valeur mesurée sur un afficheur local et/ou la transmission du signal vers un automate. La précision obtenue dépendra notamment de la technologie de mesure et de la géométrie de l'équipement de stockage.

- **Mesure par débitmètrie / comptage** : La mesure des volumes de liquide est également possible par débitmètrie. De nombreuses technologies permettent une adaptation spécifique aux produits traités en fonction de la pression, de la viscosité ou de la contamination. Selon la technologie, il est implanté de manière intrusive entre brides sur la canalisation (ex : massique) ou non intrusive en applique autour de la canalisation (ex : ultrasons). On distingue alors deux types de matériel :
 - o **Les débitmètres** : ils mesurent le débit instantané traversant la canalisation. Leurs convertisseurs proposent généralement une fonction d'intégration permettant de sommer le volume total avec possibilité de remise à zéro. Les signaux électriques de sortie sont de type analogique destinés aux fonctions de régulation de la pompe.
 - o **Les compteurs volumétriques** : ils mesurent uniquement un volume les traversant. L'affichage est disponible sous la forme d'un index cumulé sans remise à zéro possible. Ils sont bien souvent homologués à des fins de transaction commerciales, sont donc très précis et sont équipées d'un dispositif de plombage.

Enregistrement des matières entrantes et sortantes

Le suivi devra comprendre l'enregistrement des matières entrantes et sortantes à savoir :

- lors de la réception des déchets, il faut enregistrer :
 - le code déchet/ la désignation ;
 - la date de réception, le tonnage ;
 - le nom et l'adresse de l'expéditeur ;
 - le cas échéant, la date et le motif du refus ;
 - si une transformation préalable a eu lieu, les coordonnées de la société ayant transformée l'intrant ;
 - le nom et l'adresse du transporteur ;
 - la désignation du traitement déjà appliqué au déchet ou à la matière ;
 - la date prévisionnelle du traitement.

Les quatre derniers points ne sont applicables que quand l'unité est soumise à autorisation. L'enregistrement des matières entrantes permet également de calculer la prime effluents d'élevage qui entre dans le calcul du tarif d'achat de l'électricité produite.

- lors du départ du digestat, il faut enregistrer
 - la nature du déchet ou de la matière ;
 - le code du déchet ;
 - la date de chaque enlèvement ;
 - les masses ou volumes et caractéristiques correspondantes ;
 - le type de traitement prévu : épandage, traitement (compostage, séchage...) ou élimination (enfouissement, incinération, épuration...);
 - le destinataire.

- dans le cas d'un plan d'épandage il faut aussi tenir à jour un cahier comprenant :
 - la quantité épandue par unité culturale ;
 - la date d'épandage ;
 - les parcelles réceptrices et leur surface ;
 - les cultures pratiquées ;
 - le contexte météorologique lors de chaque épandage ;
 - les résultats d'analyses pratiquées sur le sol et les digestats, avec les dates de prélèvement et de mesures ainsi que leur localisation ;
 - l'identification des personnes ayant réalisées l'épandage et les analyses.

5- Les mesures de suivi du digesteur

Les unités de méthanisation sont suivies à l'aide de plusieurs paramètres. On distingue 3 types de paramètres :

- **Les paramètres imposés au système de fermentation** : la charge organique, la température, le temps de séjour (résultante de la charge organique et du volume utile du réacteur) ;
- **Les paramètres de fonctionnement** : reflètent l'état de fonctionnement du milieu de fermentation. Ils sont mesurés tout au long de l'expérimentation ;
- **Les paramètres de performance** : reflètent le niveau de production du scénario simulé. Ils sont calculés à partir des valeurs de suivi, les comparaisons de performances se font à partir de la moyenne hebdomadaire.

Paramètres de suivi d'un digesteur

Type	Paramètre	Description	Objectifs et fréquences
Paramètres de fonctionnement imposés au réacteur	Tonnes / m ³	Matières entrantes	Mesure de contrôle quotidienne
	MS/MSV (%)	Taux de matière sèche et de matière sèche volatile	Mesure de contrôle hebdomadaire
	CVO (kg MO/m ³ /j)	Charge volumique organique imposée au système	Mesure de contrôle hebdomadaire
	CMO (kg MO/t/j)	Charge massique organique imposée au système	Mesure de contrôle hebdomadaire
	TS (j)	Temps de séjour	Mesure de contrôle quotidienne
	T (°C)	Température de fermentation	Contrôle quotidien
Paramètres de suivi du fonctionnement du réacteur	NH ₄ ⁺ (kg/m ³)	Concentration en ammoniacque du digestat	inférieure à 3kg/m ³ pour éviter des inhibitions. Contrôle hebdomadaire
	AGV (kg/m ³)	Concentration en AGV du digestat	Mesure hebdomadaire par chromatographie ionique (C2 à C4)
	AGV/HCO ₃ ⁻ (FOSTAC)	Suivi du rapport acides organiques et alcalinité ;	Contrôle interne par dosage titrimétrique évaluation de la capacité tampon du milieu Mesure hebdomadaire
	pH	pH du digestat	Mesure de contrôle quotidienne
	redox	Potentiel redox du digestat	Mesure de contrôle quotidienne
	Vgaz (Nm ³ /j)	Volume de gaz produit par jour	Mesure de contrôle quotidienne
	% CH ₄ , % CO ₂ , H ₂ S	Composition du biogaz	Mesure de contrôle quotidienne
Paramètres de performance	PG (Nm ³ /t PBi)	Production de biogaz	Calcul quotidien
	PM (Nm ³ CH ₄ /t MOi)	Potentiel méthane	Calcul quotidien
	RV (Nm ³ /m ³ /j)	Rendement volumique	Calcul quotidien

Le cœur de la digestion est réalisé dans le digesteur il est donc nécessaire d'y suivre certains paramètres afin de s'assurer de son bon fonctionnement et d'appliquer des mesures correctives en cas de nécessité.

L'instrumentation de base d'un digesteur concerne la **mesure de la température** interne avec une sonde de type thermocouple. La température joue un rôle important dans la production de biogaz et la stabilité du système, il faut pouvoir réagir rapidement en cas d'écart avec la température de consigne.

Il est nécessaire de suivre régulièrement le **pH** du digestat prélevé. Si cette mesure n'est pas réalisée in situ, une sonde avec boîtier pour mesure de terrain permet d'effectuer cette mesure rapidement et de manière simple. Le pH permet notamment de s'assurer que l'introduction des matières n'entraîne pas une acidose du digesteur.

L'interprétation du fonctionnement du digesteur s'appuie sur l'analyse des paramètres de fonctionnement d'une part et de performance d'autre part. Pour chacune de ces mesures il existe du matériel adapté (capteurs, analyseurs...) que l'on trouve dans le commerce. De même les protocoles de mesure sont à bien connaître et à maîtriser pour pouvoir obtenir des données justes nécessaires à un bon pilotage de l'unité. A ce niveau on ne peut que recommander de faire une formation appropriée à ces méthodes auprès d'un centre de formation compétant lorsqu'il est envisagé de réaliser de l'autocontrôle. L'autre possibilité est de faire appel en prestation de service à un organisme spécialisé assurant le suivi des principaux paramètres, l'interprétation des résultats et établissant des bilans de fonctionnement de l'unité.

Les tableaux suivants donnent des ordres de grandeur des valeurs attendues pour un bon fonctionnement des digesteurs.

Paramètres visuels simples :

PARAMÈTRES	PLAGES DE MESURES ET UNITÉS ATTENDUES	MÉTHODE
Température	37°C - 42 °C	Eviter les écarts de température trop brutales
pH	7,5 - 8	Le pH doit être stable, une diminution peut entraîner une acidose, un maintien à un pH élevé peut signifier une alcalose
Production de biogaz	-	Elle doit être stable
% CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S	-	Une diminution du % en CH ₄ peut signifier un début d'acidose, une augmentation en H ₂ S peut entraîner une inhibition

Paramètres à calculer :

PARAMÈTRES	PLAGES DE MESURES ET UNITÉS ATTENDUES	MÉTHODE
Masse de substrat entrant	tonnes mat. brute/j	1 Pesée par substrat ou à défaut calculer à partir du volume et de la densité connue de chaque substrat
Volume de substrat entrant	m ³ mat. brute/j	Apprécier le volume des tonnages entrants ou utiliser le tonnage et la densité connue de chaque substrat
% de matière sèche du mélange entrant	<ul style="list-style-type: none"> • inférieur à 10 % MS en infiniment mélangé • entre 25 et 40 % MS en voie sèche 	Mesure de la MS sur la ration entrante par analyse ou calcul du taux de MS moyen par addition des produits "masse*%MS" des différents substrats / masse totale entrante
% de matière organique du mélange entrant	5 à 20 % MO	Mesure de la MO sur la ration entrante par analyse ou calcul du taux de MO moyen par addition des produits "masse*%MO" des différents substrats / masse totale entrante
Charge organique	2 à 5 kg MO/m ³ /j	Calcul de la masse de matière organique par m ³ de digesteur et par jour
Temps de séjour	Selon le type de méthanisation	Temps de Séjour = Volume du digesteur / volume des substrats *365
Rapport C/N	25 à 40	
Concentration en NH ₄ du digestat	3-4,5 kg/m ³	

22

Paramètres à mesurer :

PARAMÈTRES	PLAGES DE MESURES ET UNITÉS ATTENDUES	MÉTHODE
Pression en H ₂	entre 1 et 100 ppm	Une augmentation de la pression en H ₂ est l'un des meilleurs indicateurs pour repérer un début d'acidose
NH ₃	> 3 kg/m ³	Une concentration élevée avec une diminution de la production de biogaz montre un début d'alcalose
Teneur en acide gras volatil	AGV tot < 2-3 kg digestat Rapport acide acétique / acide propionique > 3	Il y a peu de valeurs standards en AGV, chaque digesteur est unique
TAC : alcalinité	> 8 g HCO ₃ ⁻ /l	Une diminution du pouvoir tampon montre un début d'acidose
Rapport AGV/TAC	0,2-0,5	
Conductivité	18-30 mS/cm	Équivalent de la concentration en sels minéraux qui sont des inhibiteurs potentiels

Concernant la production de biogaz, il est également intéressant de connaître la **pression du biogaz** dans les digesteurs ou post digesteurs afin de prévenir tout risque de surpression.

Un débitmètre permet de suivre la quantité de biogaz produite. L'analyse de la composition du biogaz requiert quant à elle des équipements de type tubes colorimétriques ou analyseur spécifique biogaz. Les composés principalement mesurés dans le biogaz sont le CH_4 , le CO_2 et l' H_2S , ainsi que l' O_2 dans le cas de l'injection du biométhane.

La **mesure du CH_4** permet de connaître la quantité d'énergie produite. La teneur H_2S est un paramètre important puisqu'il peut entraîner une corrosion du matériel. Le plus souvent l' H_2S est abattu par une injection d'air dans le digesteur, ainsi la **mesure d' H_2S** permet, entre autre, d'adapter le débit d'injection d'air.

Lorsque la quantité d'énergie thermique distribuée valorisée annuellement dépasse les 5 GWh/an, ces équipements sont obligatoires. En dessous de ce seuil, il est possible d'estimer la production totale de biogaz par calcul en s'appuyant sur les données d'enregistrement de l'énergie électrique produite.

Par ailleurs il peut être intéressant (voire nécessaire) de mettre en place sur l'installation un petit laboratoire de suivi avec du matériel adapté pour effectuer en autocontrôle la qualité des intrants, certains paramètres de fonctionnement du digesteur et la qualité du digestat. Ce matériel peut permettre par exemple de suivre : la matière sèche, la matière organique, le couple AGV (acides gras volatiles) et bicarbonates (pourvoir tampon), le niveau de stabilité du digestat (auto-échauffement, test cresson...)

6- Réglementation

La réglementation qui s'applique à une installation de méthanisation est plus ou moins complexe en fonction de sa taille, de son activité et des contraintes locales et environnementales.

Les installations de méthanisation sont des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement, leur exploitation n'est possible qu'après décision préfectorale. Suivant le tonnage traité et le type de matières entrantes, les installations ne sont pas soumises au même régime. Trois régimes existent : la déclaration, l'enregistrement et l'autorisation, chacun nécessitant l'apport d'un certain nombre d'information à l'administration et engendrant des préconisations particulières. Les différents régimes sont présentés en **annexe 3**.

En cours de vie de l'installation, des démarches réglementaires peuvent s'avérer nécessaire, notamment en cas de modification des matières entrantes ou d'augmentation de la puissance de l'installation. Dans tous les cas, l'exploitant doit se rapprocher des services départementaux concernés afin de connaître la procédure à suivre (DDCSPP).

En tant qu'installation classée pour la protection de l'environnement, l'installation peut être soumise à un contrôle par la DDCSPP. Les points de non-conformité avec les prescriptions générales qui ont pu être constatés lors de contrôles sur des sites existants sont les suivants :

- absence de torchère ou autre organe de secours ;
- pas d'analyse de gaz (CH_4 et H_2S) ;
- pas de plan de dératisation ;
- pas de clôture du site ;
- pas d'extincteurs.

Les sites concernés sont dans l'obligation de se mettre en conformité sous peine de se voir appliquer des sanctions pénales (amendes entre 1 500 et 7 500 euros) et administratives (consignation de la somme correspondant aux travaux à réaliser, exécution d'office des travaux, voire suspension du fonctionnement de l'installation jusqu'à exécution des mesures imposées).

Annexes

Annexe 1 : Exemple de modalités d'échantillonnage

Nous considérerons un lot comme étant un volume suffisamment représentatif du produit destiné à être analysé. Un lot pourra être identifié par exemple en fonction :

- Du mode d'élevage (pour des effluents d'élevage) ;
- 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 l'effluent.

1- Définitions

- **Lot** : Quantité stockée dans des conditions supposées identiques et constituant une unité ayant des caractéristiques présumées uniformes ;
- **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 réduit** : Partie représentative de l'échantillon global, obtenue après réduction de celui-ci ;
- **Echantillon final** : Partie de l'échantillon réduit séparée en différentes parties équivalentes pour envoi aux laboratoires d'analyse.

2- Prescription générales

- Prélever et préparer les échantillons aussi rapidement que possible en tenant compte des précautions requises pour qu'ils demeurent représentatifs du produit ;
- Les instruments ainsi que les surfaces et les récipients destinés à recevoir les échantillons doivent être propres et secs ;
- Chaque contenant doit être correctement **numéroté** ;
- Stocker les échantillons au réfrigérateur (4°C) jusqu'au moment de l'envoi. La durée de stockage doit être la plus courte possible ;
- Envoyer l'ensemble des échantillons dans une glacière avec gel eutectique. La durée du transport doit être réduite au maximum afin de limiter l'évolution de la matière organique de l'échantillon et donc la modification du potentiel méthane.

3- Elaboration de l'échantillon global

Dans un premier temps, il s'agit d'effectuer un échantillon global. Celui-ci est composé de multiples prélèvements élémentaires. Il s'agit de réaliser des **prélèvements élémentaires** d'environ 1 litre. Le volume de chaque prélèvement doit être approximativement équivalent. Les prélèvements élémentaires se font à différents points du stockage ou à différents moments de production (pour une production continue). Déposer le contenu prélevé dans un récipient d'environ 50l (type poubelle) ou sur une bâche plastique propre.

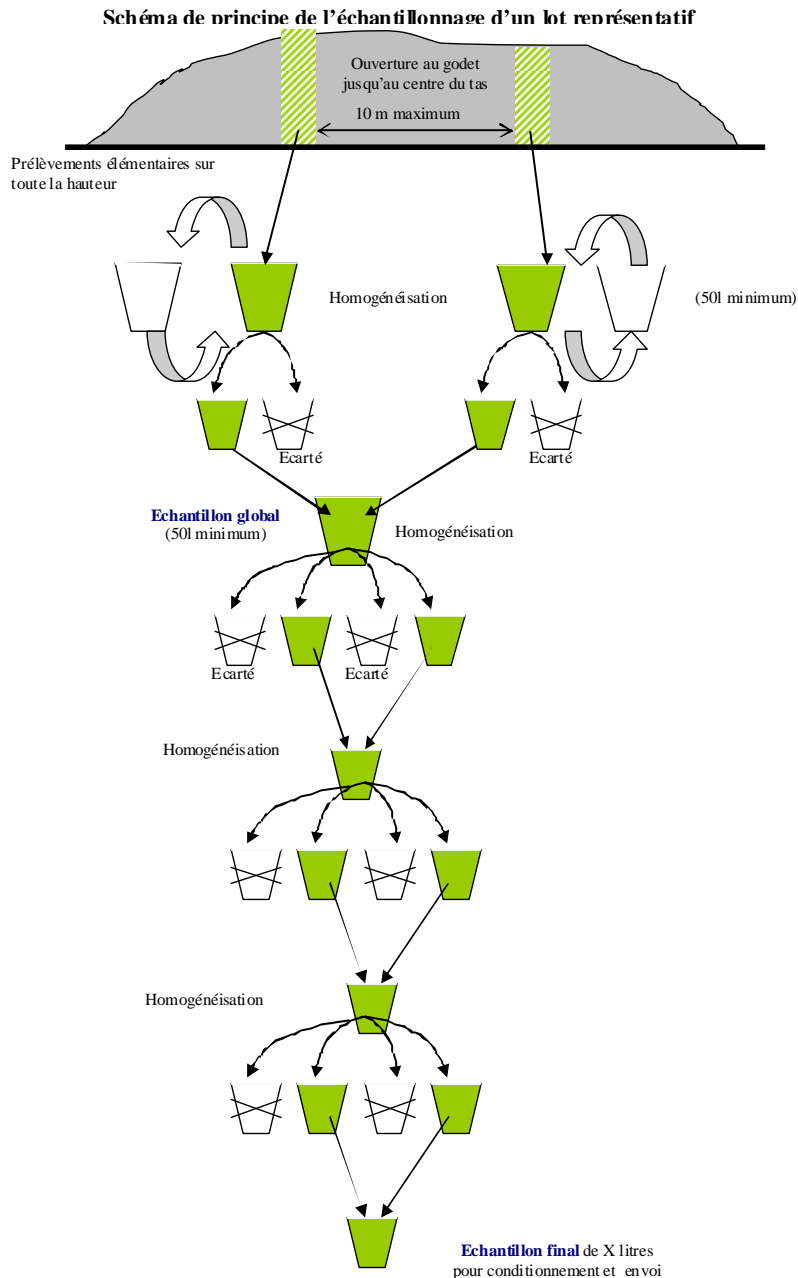
L'**échantillon global** obtenu doit représenter un volume d'environ 50 litres. Réaliser ensuite l'opération de quartage selon le schéma de principe ci-après pour obtenir l'échantillon final à envoyer pour analyses.

4- Elaboration de l'échantillon final

L'**échantillon global** donnera lieu, après réduction par quartage à l'obtention de l'**échantillon final**. Le volume de l'échantillon global ne devra **pas être inférieur** à deux fois le volume de l'échantillon final. Le schéma suivant illustre la démarche à mettre en œuvre.

5- Schéma de principe du quartage

Le schéma suivant présente pour un stockage en andain le principe d'échantillonnage et de quartage.

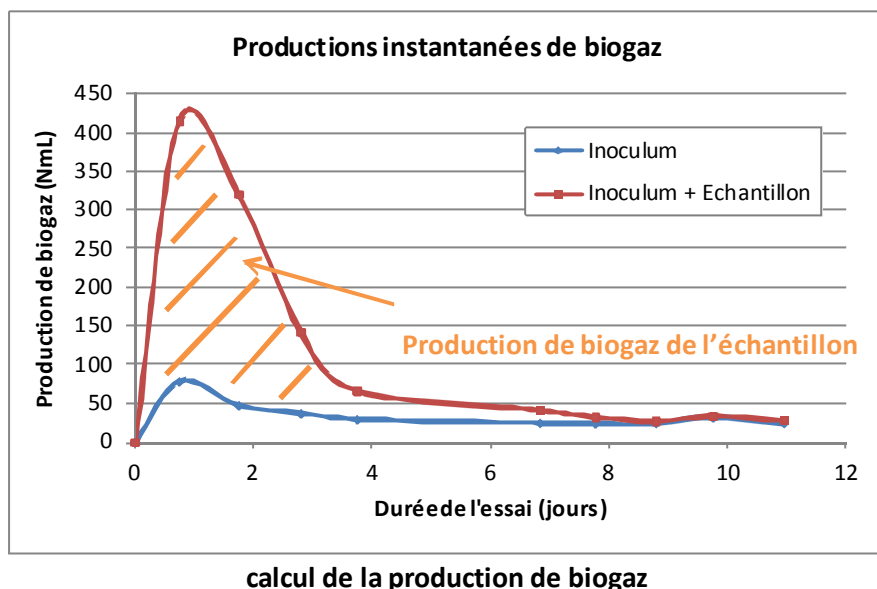


Annexe 2 : Le test de potentiel méthane

Le test de potentiel méthanogène permet de déterminer la production maximale de biogaz d'un échantillon de biomasse et de donner un premier aperçu de la cinétique de dégradation. Au cours du test, la vitesse de production de biogaz (cinétique de fermentation) et la composition en méthane (CH_4), dioxyde de carbone (CO_2) et hydrogène sulfuré (H_2S) sont mesurés. Ce test peut être réalisé sur différents échantillons de biomasse : effluents d'élevages (lisiers, fientes, fumiers...), déchets agroalimentaires (résidus lignocellulosiques, graisses, boues...), déchets de collectivités (biodéchets, boues de STEP...), cultures énergétiques (plante entière, ensilage, foin...) ainsi que tout autre résidu ou sous-produit organique. L'échantillon est placé dans un réacteur en présence d'un inoculum anaérobie adapté et appauvri en conditions anaérobies. L'inoculum est un digestat contenant la flore méthanogène nécessaire et, dans l'idéal, adaptée au substrat testé. Il doit être appauvri de manière à ce que sa production propre de biogaz soit réduite.

Les réacteurs sont chauffés (en conditions mésophiles –39°C ou en conditions thermophiles –55°C) et agités régulièrement. Chaque réacteur est muni d'un système d'enregistrement permettant la mesure du volume de biogaz produit au cours du temps ainsi que l'analyse de sa composition en CH_4 , CO_2 et H_2S . L'essai de fermentation se poursuit jusqu'à l'arrêt de la production de biogaz. La durée du test sera donc fonction de l'atteinte du plateau de production de biogaz. On peut estimer cette durée à environ 2 à 3 semaines ; et de toute façon jusqu'à arrêt de la production de biogaz.

La production de biogaz liée à la dégradation de l'échantillon est calculée par différence avec des blancs (réacteurs contenant uniquement l'inoculum).



Plusieurs essais sont réalisés pour chaque échantillon de biomasse. Moyenne et écart type sont établis. Les résultats sont donnés en volume de biogaz par unité de masse de produit exprimé par rapport au produit brut, à la matière sèche et à la matière organique. Les volumes de biogaz sont ramenés aux conditions normales de température et de pression et exprimés en normo-litre. La composition est donnée en pourcent de CH_4 et de CO_2 et en ppm de H_2S . Sont calculés le degré de biodégradation anaérobie (en % de la matière organique initiale) ainsi que le pouvoir calorifique du biogaz (kWh/Nm^3) et de la biomasse (kWh/t).

Annexe 3 : La réglementation

Les installations de méthanisation sont soumises aux deux rubriques principales suivantes :

- Rubrique 2781 pour la méthanisation ;
- Rubrique 2910 pour la combustion du biogaz (cogénération, turbine, chaudière).

Le tableau ci-dessous récapitule les différents régimes et les arrêtés associés.

intrants méthanisés	matière végétale brute, d'effluents d'élevage, de matières stercoraires, de lactosérum et de déchets végétaux d'industries agroalimentaires		autre (sang, reste de repas,...)	
	rubrique	méthanisation	combustion (si biogaz exclusif et >0,1 MW)	méthanisation
<30T/j	2781-1 déclaration <i>Arrêté du 10/11/09 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées de méthanisation soumises à déclaration sous la rubrique n° 2781-1</i>	2910-C déclaration <i>Arrêté du 08/12/11 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées soumises à déclaration sous la rubrique n° 2910-C</i>		
<60T/j	2781-1 enregistrement <i>Arrêté du 12/08/10 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées de méthanisation relevant du régime de l'enregistrement au titre de la rubrique n° 2781-1</i>	2910-C enregistrement <i>Arrêté du 08/12/11 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations relevant du régime de l'enregistrement au titre de la rubrique n° 2910-C</i>	2781-2 autorisation <i>Arrêté du 10/11/09 fixant les règles techniques auxquelles doivent satisfaire les installations de méthanisation soumises à autorisation en application du titre Ier du livre V du code de l'environnement</i>	2910-B2a enregistrement <i>Arrêté du 24/09/13 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations relevant du régime de l'enregistrement au titre de la rubrique n° 2910-B</i>
≥60T/j	2781-1 autorisation <i>Arrêté du 10/11/09 fixant les règles techniques auxquelles doivent satisfaire les installations de méthanisation soumises à autorisation en application du titre Ier du livre V du code de l'environnement</i>	2910-C autorisation <i>Arrêté du 26/08/13 relatif aux installations de combustion d'une puissance supérieure ou égale à 20 MW soumises à autorisation au titre de la rubrique 2910</i>		

Cependant, l'installation peut dépendre d'autres rubriques, par exemple si l'unité accueille un stockage sur site d'ensilage ou de fumier, les deux rubriques suivantes s'appliquent:

- 2160 : silos et installations de stockage en vrac de céréales, de grains, de produits alimentaires ou tout produit organique dégageant des poussières inflammables, y compris les stockages sous tente ou structure gonflable (soumis déclaration si $>5\ 000\text{m}^3$, à enregistrement si $>15\ 000\text{m}^3$).
- 2171 : dépôts de fumiers, engrais et supports de culture, si ce n'est pas l'annexe d'une exploitation agricole (soumis déclaration si $>200\text{m}^3$).

Si l'unité utilise des sous produits animaux (effluents d'élevage, sang, graisse, matières stercoraires,...), elle devra obtenir un agrément sanitaire en déposant un dossier auprès de la DDCSPP, l'agrément ne sera obtenu qu'après visite de la DDCSPP sur le site. Cet agrément sanitaire est régi par deux textes européens : le 142/2011 et le 1069/2009, ils mentionnent notamment quels sont les sous produits animaux à hygiéniser, les méthodes d'hygiénisation, et les critères microbiologiques que doivent respecter le digestat en sortie de digestion.