



Guide pédagogique

La biologie des digesteurs à destination des exploitants d'unités de méthanisation

Novembre 2014





Introduction





La méthanisation est un procédé microbiologique complexe et fragile. En plus des éléments mécaniques et énergétiques de l'installation, la biologie dans les digesteurs est un élément essentiel à prendre en compte et à surveiller pour assurer une production de méthane sécurisée et maximale.

Vous êtes exploitant d'une installation de méthanisation et vous souhaitez vous approprier son fonctionnement et suivre ses performances. Ce guide est fait pour vous !

Il aborde les mécanismes biologiques qui s'opèrent dans votre digesteur, détaille les principaux problèmes biologiques et donne des pistes pour les éviter et les réparer. Il précise également les paramètres importants à prendre en compte pour effectuer un suivi pertinent de votre installation.

Document réalisé par l'ADEME Bourgogne
d'après le document "biologie des digesteurs" réalisé
par S3D et APESA pour le compte de l'ADEME Bourgogne

Sommaire guide pédagogique

	1. Étapes biologiques de la méthanisation	PAGE	04
	2. Les principaux problèmes	PAGES	05 À 08
	• L'acidose	PAGES	05 À 06
	• L'alcalose	PAGE	07
	• Les autres problèmes biologiques	PAGE	08
	3. Paramètres de suivi d'un digesteur	PAGES	09 À 11
	• Paramètres visuels simples	PAGE	09
	• Paramètres à calculer	PAGE	10
	• Paramètres à mesurer	PAGE	11
	4. Contacts / Coordonnées / Documents à consulter	PAGE	12

Étapes biologiques de la méthanisation



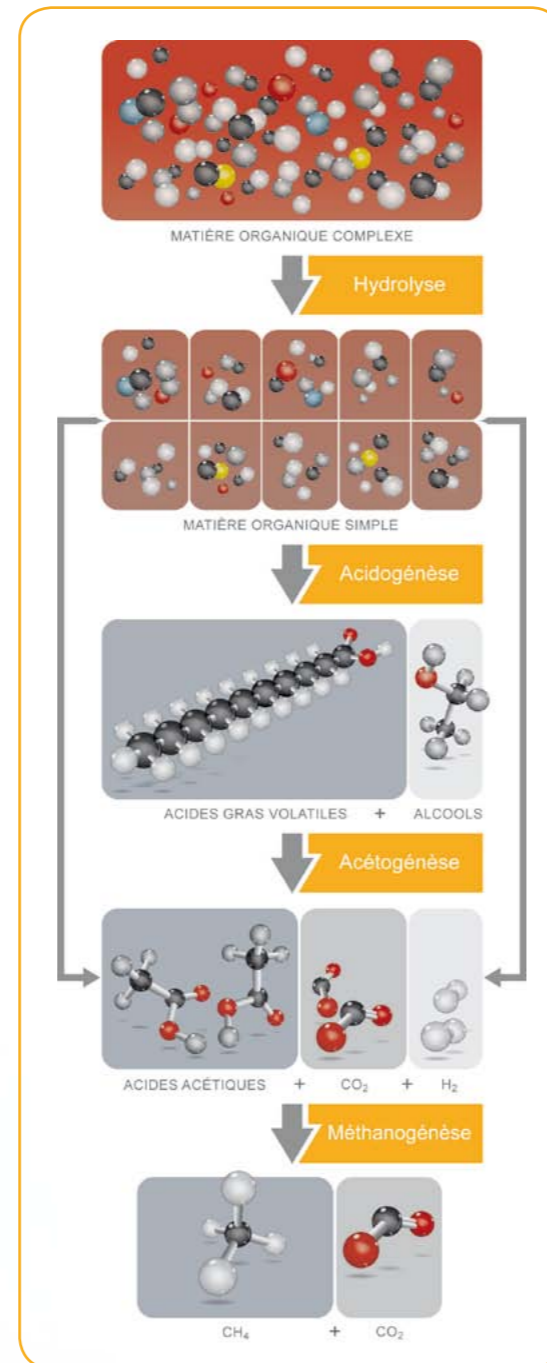
La méthanisation ou digestion anaérobie est un processus biologique de dégradation de la matière organique en biogaz, un mélange gazeux de méthane (CH_4) et de dioxyde de carbone (CO_2).

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)

Chaque groupe de bactéries 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



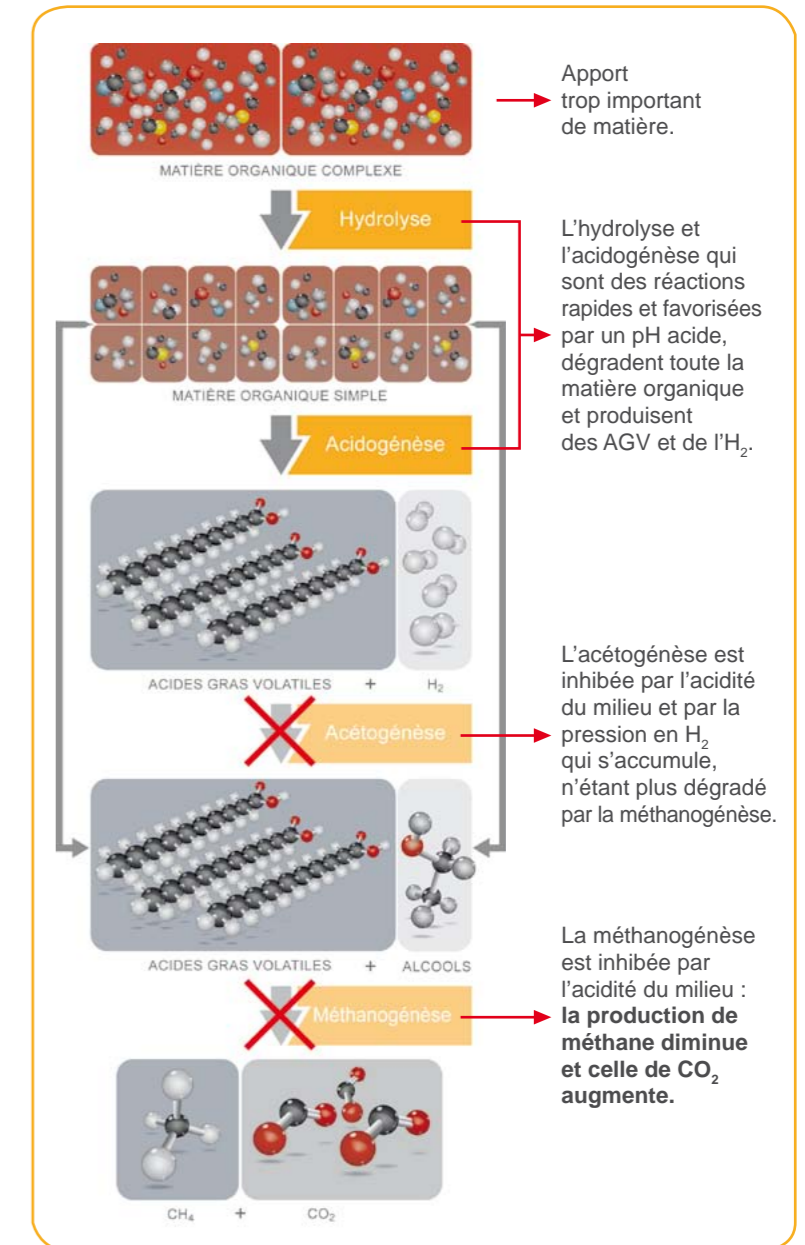
1 L'acidose

D'OU ÇA VIENT ?

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 : H_2S , NH_3 , 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.



Les principaux problèmes biologiques



1 L'acidose

► ACIDOSE : COMMENT LA REPÉRER ?

1. 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.

2. 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.

► 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.

► COMMENT LA PRÉVENIR ?

1. Bien maîtriser sa ration :

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

2. 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.



Les principaux problèmes biologiques



2 L'alcalose

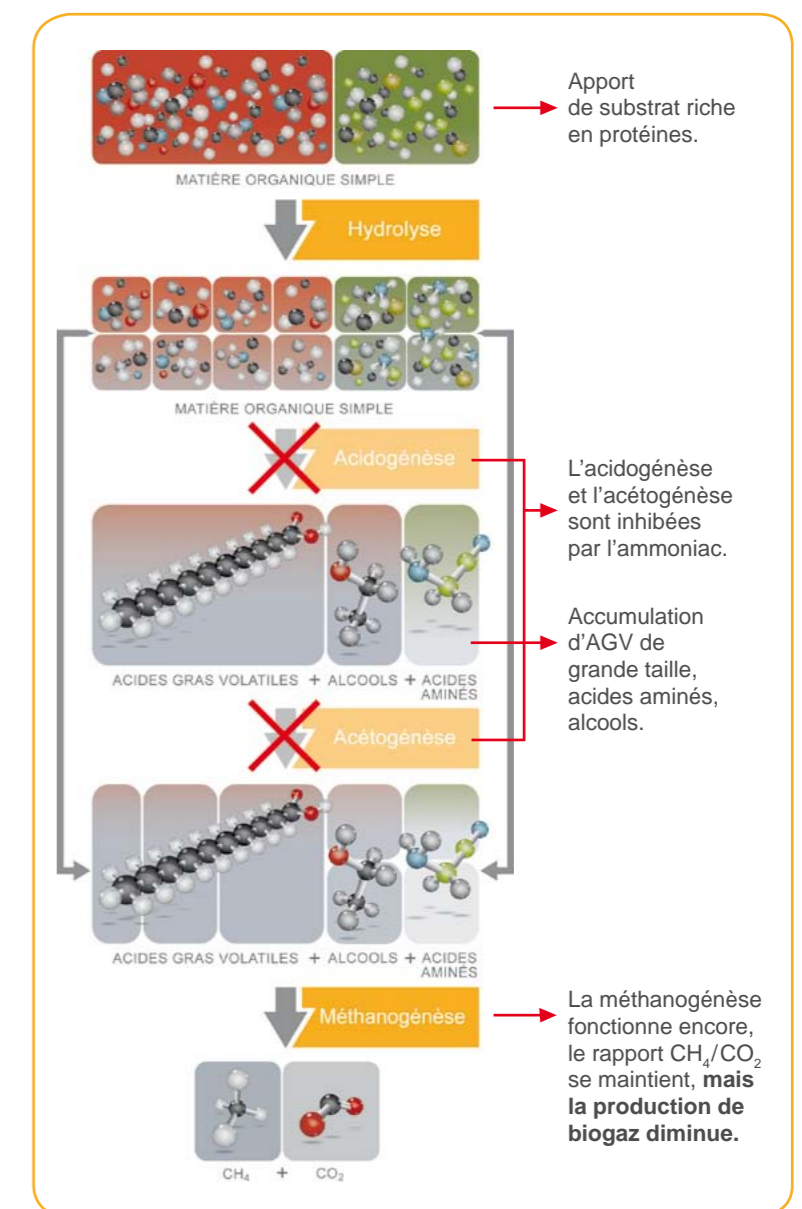
► D'OÙ ÇA VIENT ?

- 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**.

► ALCALOSE : COMMENT LA REPÉRER ?

- Augmentation de la concentration en NH_3 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 CH_4/CO_2
- Production possible de mousse



► 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.

► 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.

Les principaux problèmes biologiques



3 Autres problèmes biologiques

D'autres problèmes biologiques peuvent survenir, tels que l'intoxication à l'H₂S, 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 H₂S :

Une accumulation de H₂S 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 H₂ ;
- Baisse de la production de biogaz mais maintien de la proportion CH₄/CO₂ ;
- Augmentation de la concentration de H₂S 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 NH₃ 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.

Paramètres de suivi d'un digesteur



Pour prévenir les problèmes biologiques, il est nécessaire d'organiser un suivi de l'installation de méthanisation. Il est nécessaire de suivre plusieurs paramètres.

1 Paramètres visuels simples



PARAMÈTRES	PLAGES DE MESURES ET UNITÉS ATTENDUES	MÉTHODE
Température	37°C - 42 °C	Eviter les écarts de température trop rapides
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	CH ₄ : au moins 50 % CO ₂ : 30 à 50 % H ₂ S : < à 1 000 ppm Autres (O ₂ , H ₂ O, N ₂) < 3 %	Une diminution du % en CH ₄ peut signifier un début d'acidose, une augmentation en H ₂ S peut entraîner une inhibition



Paramètres de suivi d'un digesteur



2 Paramètres à calculer



PARAMÈTRES	PLAGES DE MESURES ET UNITÉS ATTENDUES	MÉTHODE
Masse de substrat entrant	tonnes mat. brute/j	Une 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 x %MS" des différents substrats / masse totale entrante
% de matière organique du mélange entrant (MO)	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 x %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	15 à 30	
Concentration en NH ₄ du digestat	3 - 4,5 kg/m ³	

Paramètres de suivi d'un digesteur



3 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

➤ Contacts

ADEME Bourgogne

- Agriculture - Biogaz :

Bertrand AUCORDONNIER - 03 80 76 89 80
bertrand.aucordonnier@ademe.fr

Le réseau Agri Énergie en Bourgogne

- Côte d'Or - Chambre d'agriculture de Côte d'Or :

Sylvie LEMAIRE - 03 80 28 81 38
sylvie.lemaire@cotedor.chambagri.fr

- Nièvre - Chambre d'agriculture de la Nièvre :

Étienne BOURGY - 03 86 93 40 18
etienne.bourgy@nievre.chambagri.fr

- Saône-et-Loire - Chambre d'agriculture de Saône-et-Loire :

Thomas GONTHIER - 03 85 29 56 20
thomas.gonthier@sl.chambagri.fr

- Yonne - Chambre d'agriculture de l'Yonne :

Vincent GALLOIS - 03 86 94 26 34
v.gallois@yonne.chambagri.fr

➤ À consulter

- Les documents régionaux sur la méthanisation :
www.bourgogne.ademe.fr/methanisation

- Le site de l'ADEME Bourgogne :
www.bourgogne.ademe.fr

- Le site national de l'ADEME :
www.ademe.fr

- Références sur la biologie des digesteurs :

1. La biologie des digesteurs guide complet - ADEME Bourgogne - 2014

www.bourgogne.ademe.fr/methanisation

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

<http://www.aile.asso.fr/>

3. Analyse et recommandations de surveillance pour l'optimisation des unités de méthanisation et biométhane - ESTEVES, MILTNER, FLECHT - 2012

www.biogazrhonealpes.org



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

Direction régionale Bourgogne

1C, boulevard de Champagne - Tour Elithis
BP 51562 - 21015 DIJON Cedex

03 80 76 89 76

ademe.bourgogne@ademe.fr

www.bourgogne.ademe.fr

ADEME Bourgogne - Novembre 2014

Conception : ADEME Bourgogne
Réalisation : Studio Graphique Plénat

Financé dans le cadre du Programme Énergie Climat Bourgogne

