

La méthanisation de la matière organique

Aspects généraux

R. Moletta

Moletta Méthanisation

rene.moletta@yahoo.fr

site internet : <http://rene.moletta.perso.sfr.fr/>

(rédaction 2002)

Document d'information générale - Diffusion référencée libre

(Pour plus d'informations, consulter l'ouvrage : « Gestion des problèmes environnementaux dans les industries agro-alimentaires » R. Moletta coordonnateur : Collection Tech doc Lavoisier)

1- Le processus de méthanisation

Le processus de méthanisation par voie microbienne consiste en une transformation de la matière organique ou minérale principalement en méthane et gaz carbonique, par une communauté microbienne fonctionnant en anaérobiose. Le gaz formé est communément appelé «biogaz». Cette fermentation se réalise spontanément dans des écosystèmes naturels, où la matière organique est présente dans un milieu anaérobie et dans des conditions compatibles avec l'expression du vivant. Ces communautés microbiennes méthanogènes se retrouvent ainsi dans les marais, les rizières, les sédiments lacustres et marins, le sol, l'intestin de mammifères, le tractus intestinal de certains termites...

Dans les années 70, la première crise pétrolière, entraîna une forte augmentation du coût de l'énergie. Cette crise contribua à un large développement des recherches fondamentales et appliquées dans ce domaine. Dans cette mouvance ce processus de méthanisation fut de nouveau appliqué la production de biogaz à partir de résidus agricoles et de déchet, ainsi qu'au traitement de la pollution organique des effluents industriels chargés. Pour le traitement des eaux usées industrielles, ceci permis, non seulement de produire de l'énergie mais aussi d'en économiser en supprimant le transfert d'oxygène des traditionnelles boues activées. Ici, après transformation, la matière organique se trouve principalement sous forme de gaz et très peu sous forme de microorganismes (boues). Les équivalences énergétiques de 1 m³ de méthane sont représentées sur la figure 1.

Dans nos régions d'Europe, pour des raisons de température, la digestion anaérobie est principalement appliquée aux effluents industriels, alors que sous des climats plus chauds, elle est appliquée aussi aux effluents des collectivités. Vers le milieu des années 80, la baisse du prix du pétrole engendra un désintérêt de ce processus sur l'approche énergétique mais, devant les caractéristiques fort intéressantes obtenues en dépollution, son application continua de se développer.

Le traitement des eaux industrielles permet non seulement de produire de l'énergie sous forme de méthane, mais aussi d'en économiser en supprimant le transfert d'oxygène du traditionnel système à boues activées. Les équivalences énergétiques de 1 m³ de méthane sont représentées ci-dessous.

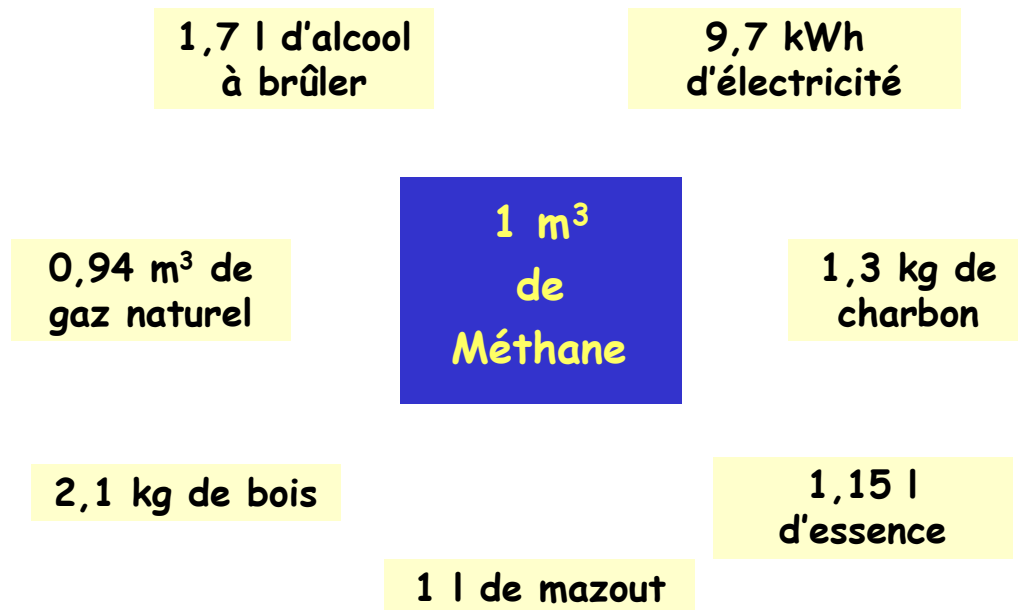


Figure 1 Equivalence énergétique d'un mètre cube de méthane

Lorsqu'elle est utilisée comme moyen de dépollution, la digestion anaérobie présente des caractéristiques suivantes :

- Peu d'énergie est nécessaire pour fonctionner ;
- Elle produit un gaz valorisable ;
- Elle nécessite généralement des températures au-dessus de 20 degrés C pour avoir des vitesses réactionnelles correctes. Il faut donc chauffer l'effluent. En général, la réaction se fait aux alentours de 35 degré Celcius (condition de température mésophile) ou de 55 degrés Celcius (condition de température thermophile). Elle n'est donc pas adaptée aux effluents dilués froids car les quantités d'énergie nécessaires pour chauffer seraient trop importantes. Elle est en conséquence bien adaptée aux effluents chargés en DCO (en général au-dessus de 2 g.l⁻¹ en DCOs) ;
- Les charges organiques peuvent être très élevées (de 2 à 40 kg de DCO/m³ de réacteur et par jour avec des taux d'épuration de 80 à 98 ~ % sur la DCO) ;
- Elle est souvent considérée comme un pré-traitement au regard des contraintes de rejet dans le milieu naturel dictées par la législation ;
- Il y a peu de boues produites ;
- Elle est bien adaptée au traitement des effluents déséquilibrés (limités) en N et P par rapport à la DCO au regard du traitement aérobie ;
- Les micro-organismes ont une croissance lente, il faut donc les retenir dans le réacteur.

1.1. Flux métabolique et microbiologie

La méthanisation de la matière organique passe par différentes étapes et met en jeu un grand nombre de micro-organismes. Il existe de nombreux intermédiaires entre la matière organique initiale et le biogaz final (formé de méthane et de gaz carbonique).

La figure 2 montre les principales voies métaboliques et le type de micro-organismes qui interviennent.

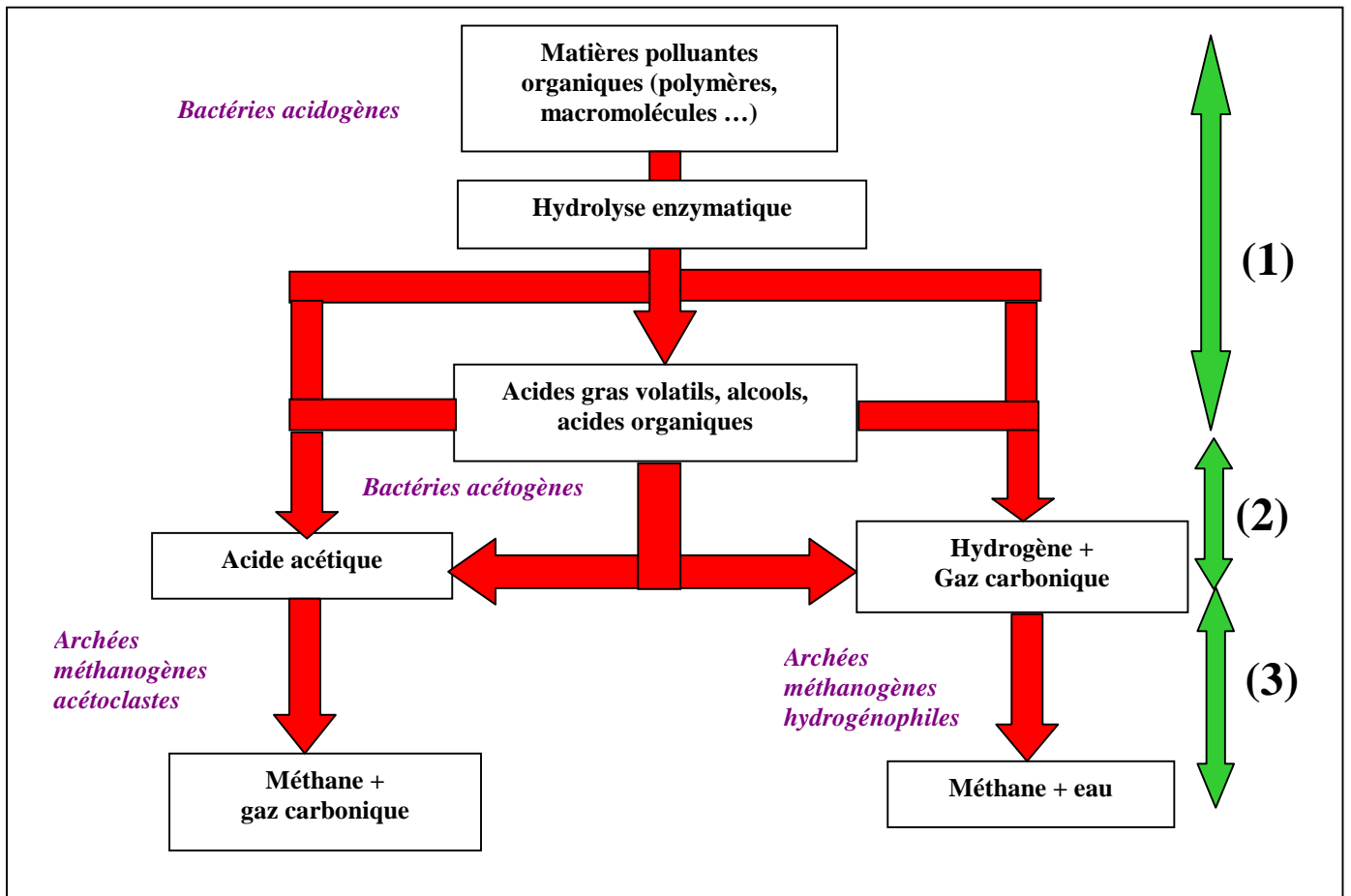


Figure 2 : Principales voies métaboliques et populations microbiennes impliquées dans la méthanisation.

La méthanisation est découpée traditionnellement en trois phases (Figure 2) :

- l'hydrolyse et l'acidogénèse (1)
- l'acétogénèse (2) ;
- la méthanogénèse (3).

1.1.1. Hydrolyse et acidogénèse

Dans cette étape réalisée par des bactéries hydrolytiques et fermentatives, les macro-molécules et les particules solides sont hydrolysées en monomères puis fermentées principalement en Acides Gras Volatils (ou AGV tel que les acides acétique, propionique, butyrique, valérique, etc...), en alcools, en d'autres acides organiques (lactique...), en hydrogène et en gaz carbonique.

Si l'étape d'hydrolyse des macro-molécules et des particules organiques est généralement lente, les vitesses d'acidogénèse à partir des monomères sont par contre, très rapides.

L'hydrolyse des particules (et de la matière solide en général) est souvent la réaction limitante. Ceci est particulièrement vérifié lorsqu'elles contiennent de la lignine.

La plupart du temps la matière organique, présente dans les effluents des IAA, est sous forme soluble et majoritairement fermentescible. Il s'ensuit que l'acidogénèse se

fait rapidement parfois même dans les cuves tampons ou dans les conduites qui alimentent la station d'épuration.

Dans cette étape, les micro-organismes impliqués sont des bactéries (et parfois même des champignons) anaérobies strictes ou facultatives. La biodiversité est importante. Les vitesses de croissance sont rapide avec des temps de doublement de quelques heures généralement parfois.

1.1.2. L'acétogénèse

Dans l'étape d'acétogénèse, ces intermédiaires métaboliques sont transformés en acétate, hydrogène et gaz carbonique grâce notamment, à trois groupes de bactéries : les acétogènes productrices obligées d'hydrogène (qui sont des bactéries syntrophiques), les bactéries homo-acétogènes, et des bactéries sulfato-réductrices qui peuvent avoir une des fonctions précédentes.

Les bactéries homoacétogènes sont divisées en deux groupes suivant l'origine de l'acétate. L'acétate peut provenir soit d'un substrat carboné (groupe 1), soit par la réduction du CO_2 par H_2 (groupe 2).

Les vitesses réactionnelles d'acétogénèse sont généralement lentes et soumises à des problèmes d'inhibition par la présence d'hydrogène qui modifie l'équilibre thermodynamique de la cinétique globale.

En effet, les bactéries dites syntrophiques ont pour caractéristique d'effectuer des réactions dont les variations d'enthalpie libre standard sont positives. Dans les milieux naturels, pour pouvoir se réaliser, elles nécessitent une seconde bactérie qui élimine une des molécules produites, permettant ainsi de transformer une réaction endergonique en réaction exergonique et donc de générer l'énergie nécessaire au micro-organisme.

Dans la digestion anaérobie c'est l'hydrogène qui est la molécule clé. Elle est produite par les bactéries syntrophes et est consommée par des bactéries homoacétogènes, méthanogènes hydrogénophiles et sulfato réductrices... principalement.

Les bactéries syntrophiques obligatoires ainsi que la réaction qu'elles effectuent sont représentées sur le tableau 4.

1.1.3. La méthanogénèse .

Les bactéries méthanogènes ont la fonction de transformer l'acétate et hydrogène avec le CO_2 en méthane. Elles ont été classées dans les archéobactéries avec d'autres micro-organismes dits « extrêmophiles ». Les réactions mises en œuvre sont représentées sur le tableau 5.

Bien que faisant partie des toutes premières bactéries qui sont apparues sur terre, elles n'ont pu être isolées et étudiées que très tardivement étant donné de la difficulté à les cultiver en cultures pures. Celles qui utilisent l'acide acétique pour former du CO_2 et du CH_4 sont dites acétoclastes et celles qui réduisent le gaz carbonique par l'hydrogène pour faire du méthane et de l'eau sont dites hydrogénophiles.

D'autres substrats peuvent être consommés comme le méthanol, l'acide formique par ce type de bactéries. Le tableau 5 indique les stoéchiométries des réactions réalisées et leur énergie libre standard.

Les bactéries méthanogènes sont des micro-organismes qui fonctionnent dans des conditions de milieu très strictes notamment avec des potentiels d'oxydo-réduction très bas. Celles qui sont connues actuellement sont reportées sur le tableau 6.

Bactérie	Réaction	ΔG° (KJ par réaction)
Organisme "S" (Pelobacter sp.)	Ethanol + H ₂ O → acétate + 2H ₂	+9,6
<i>Syntrophobacter</i>	Propionate + 3H ₂ O → acétate + 3H ₂ + CO ₂	+76,1
• <i>wolinii</i>		
• <i>pfennigii</i>		
<i>Syntrophomonas</i>	du butyrate (C4) au Laurate (C12)	
• <i>sapovorans</i>	du butyrate (C4) au Laurate (C12)	
• <i>wolfei</i>		
sub.sp.saponavida		
• <i>wolfei sub.sp.wolfei</i>	du butyrate (C4) au Caprylate (C8)	
<i>Syntrophospora</i>		
• <i>bryantii</i>	du butyrate (C4) au Caprate (C10) Butyrate + 2H ₂ O → 2 acétate + 2H ₂	+ 48,1
<i>Syntrophococcus</i>	Fructose + H ₂ O → H ₂ + CO ₂	
• <i>sucromutans</i>		
<i>Syntrophus</i>		
• <i>buswelli</i>	Benzoate + 7H ₂ O → 3 acétate + 3H ₂ + CO ₂	+53,0
• <i>gentianae</i>		
<i>Syntrophobotulus glycolicus</i>	Glycolate → glyoxylate + H ₂	+38,0
<i>Thermosyntropha lipolytica</i>	du Butyrate (C4) aux Oléate, Linoléate, Stéarate (C18)	
<i>Clostridium ultunense</i>	Acétate + H ₂ O → H ₂ + CO ₂	
<i>Eubacterium sp.</i>		

Tableau 4 : Bactéries syntrophiques obligatoires et réactions réalisées (J.L. Garcia, communication personnelle).

Réaction	ΔG° à pH 7 (kJ. Mole ⁻¹ de CH ₄)
4 H ₂ + CO ₂ → CH ₄ + 2 H ₂ O	- 139,2
4 HCOO ⁻ + 2 H ⁺ → CH ₄ + CO ₂ + 2 HCO ₃ ⁻	- 126,8
HCOO ⁻ + 3 H ₂ + H ⁺ → CH ₄ + 2 H ₂ O	- 134,3
4CO + 2 H ₂ O → CH ₄ + 3 CO ₂	- 185, 1
4 CH ₃ OH → 3 CH ₄ + CO ₂ + 2 H ₂ O	- 102,5
CH ₃ OH + H ₂ → CH ₄ + H ₂ O	- 121,1
4 CH ₃ NH ₂ + 2 H ₂ O + 4 H ⁺ → 3 CH ₄ + CO ₂ + 4 NH ₄ ⁺	- 101,6
2 (CH ₃) ₂ NH + 2 H ₂ O + 2 H ⁺ → 3 CH ₄ + CO ₂ + 2 NH ₄ ⁺	- 86,3
4 (CH ₃) ₃ N + 6 H ₂ O + 4 H ⁺ → 9 CH ₄ + 3 CO ₂ + 4 NH ₄ ⁺	- 80,2
2 CH ₃ CH ₂ - N (CH ₃) ₂ + 2 H ₂ O → 3 CH ₄ + CO ₂ + 2 CH ₃	- 70
H ₂ O + CH ₂ NH ₂ → CH ₄ + HCO ₃ ⁻	- 28,2

Tableau 5 : Réaction de méthanogénèse

Ordre Methanobacteriales**Famille Methanobacteriaceae****Genre Methanobacterium**

formicicum
alcaliphilum
bryantii
defluvii
espanolae (*espanolense*)
ivanovii
« *palustre* »
thermoaggregans
thermoflexum
thermophilum
uliginosum

Methanothermobacter

thermoautotrophicus
(=*thermoformicicum*)
(=*thermoalcaliphilum*)
wolfeij

Methanobrevibacter

ruminantium
arboriphilus
curvatus
cuticularis
oralis
smithii

Methanosphaera

stadtmaniae
cuniculi

Famille. Methanothermaceae**Methanothermus**

fervidus
sociabilis

Ordre Methanococcales**Famille Methanococcaceae****Methanococcus**

vanniellii
« *aeolicus* »
maripaludis (= *deltae*)
voltaei

Methanothermococcus

thermolithotrophicus

Famille Methanocaldococcaeae**Methanocaldococcus**

jannaschii
Methanoignis igneus

Ordre Methanomicrobiales**Famille Methanomicrobiaceae****Methanomicrobium**

mobile
Methanolacinia
paynteri

Methanogenium

cariaci (*cariacoense*)
frigidum
« *frittonii* »
liminatans
organophilum
Methanoculleus
olentangyi (*yensis*)
(= *bourgense*)

marisnigri (*marinigri*)
oldenburgensis
thermophilicus

Methanoplanus

limicola
endosymbiosus
petrolearius

Methanofollis

tationis (*tatioense*)

Methanocalculus

halotolerans

Famille Methanocorpusculaceae**Methanocorpusculum**

parvum (= *aggregans*)
bavaricum
labreanum
sinense

Famille Methanospirillaceae**Methanospirillum**

hungateii

Tableau 6 : Classification des bactéries méthanogènes (J.L. Garcia, communication personnelle)

Ordre *Methanosarcinales*

Famille *Methanosarcinaceae*

Methanosarcina

barkeri
acetivorans
mazeii (= *frisiana*)
siciliae (*sicilensis*)
thermophila
vacuolata

Methanolobus

tindarius (*tindariensis*)
bombayensis
oregonensis
taylorii
vulcani

Methanococcoides

methylutens
burtonii

Methanohalophilus

mahii
eupalobius
halophilus
portucalensis

Methanosalsus

zhilinae

Methanohalobium

vestigatus

Famille *Methanosaetaceae*

***Methanosaeta* (= *Methanothrix*)**

concilii
thermoacetophila

Ordre *Methanopyrales*

Famille *Methanopyraceae*

Methanopyrus

kandleri

Tableau 6 : Classification des bactéries méthanogènes – suite - (J.L. Garcia, communication personnelle)

Bien que la production de méthane passe principalement par l'acétate, (on estime généralement que 70~ % du méthane est issu de cette voie), seules *Methanosarcina* et *Methanosaeta* sont capables d'utiliser cette molécule.

Si les bactéries acétoclastes ont des vitesses de réaction lentes (leurs temps de doublement de croissance peut-être de 0,5 à plusieurs jours), les méthanogènes hydrogénophiles ont par contre des temps de doublement de la biomasse très rapides, de l'ordre de quelques heures.

2 Caractéristiques de fonctionnement de la digestion anaérobie

2.1. Température

La méthanisation de la matière organique par voie microbienne peut intervenir dans des biotopes psychrophiles, (5 à 15 degrés C.), mésophiles (15 à 45 degrés C.) et thermophiles (45 à 65 degrés C.). De manière générale la mise en œuvre de la digestion anaérobie dans des conditions psychrophiles conduira à la mise en place de technologies extensives. Par contre, les technologies intensives seront plutôt réalisées à des températures mésophiles ou thermophiles. Les industries agro-alimentaires disposent souvent de calories de sur le site (ou des effluents carrément chauds) qui peuvent être utilisées apport thermique pour réchauffer le digesteur .

Pour les temps de séjour courts, l'apport calorifique est souvent effectué uniquement par l'effluent entrant, alors que pour les temps de séjour longs, un effluent même chaud n'apportera qu'insuffisamment de calories.

2.2. Concentration en DCO de l'effluent

De manière général, si la DCO d'un effluent est faible, et que l'effluent est froid, c'est principalement la technique aérobie (boues activées) qui sera appliquée. Les stations d'épuration urbaines (qui traitent des effluents à 500 mg.l⁻¹ de DCO) sont réalisées sur cette technologie. Par contre dans les pays chauds comme ceux d'Amérique du sud par exemple, la digestion anaérobie est appliquée aussi à ce type d'effluent.

Si les effluents sont chargés en DCO, la digestion anaérobie sera plus intéressante car même s'ils sont froids, elle générera suffisamment de méthane pour chauffer le digesteur. C'est pourquoi, dans nos régions, on applique principalement cette dernière aux effluents organiques qui ont une concentration en DCO supérieure à 2000 mg.l⁻¹.

C'est une technique qui est souvent considérée comme un pré-traitement permettant soit de rejeter ensuite l'effluent traité soit dans le réseau collectif, soit dans une station aérobie afin de subir une finition aérobie avant rejet dans le milieu naturel.

Certains effluents des IAA peuvent contenir des molécules plus difficilement biodégradables, comme dans les mélasses de canne à sucre ou de betterave. Cette DCO qui résiste à la digestion anaérobie ou a un traitement biologique en général est appelée « DCO dure ».

2.3 Le pH

Le pH optimum de fonctionnement est aux alentours de la neutralité et donc à des valeurs comprises entre 6,5 et 8,5. Le pouvoir tampon du milieu joue un rôle important pour maintenir la stabilité du système. Il est parfois nécessaire de corriger ses variations dans l'alimentation par ajout de produits correcteurs. Il faut se méfier de l'addition de chaux pour corriger le pH car elle conduit à des précipitations de carbonate de calcium qui peuvent être dramatiques sur des filtres anaérobies par exemple.

2.4. Alcalinité

Lorsqu'on mesure l'alcalinité d'un digesteur, on a deux types d'alcalinité : celle due aux AGV et celle due aux bicarbonates. L'alcalinité due aux bicarbonates de calcium doit être relativement élevée pour bien fonctionner. On considère, en général, qu'il est nécessaire d'avoir au moins à 1000 mg.l⁻¹ d'alcalinité (exprimée en Ca CO₃) dans un réacteur qui fonctionne bien (Hawkes *et al*, 1993). Le carbonate joue non seulement le rôle de pouvoir tampon mais contribue aux équilibres des diverses formes du gaz

carbonique dissous. Un effluent chargé en azote organique va produire dans le digesteur de l'azote ammoniacal, qui contribuera à générer de l'alcalinité et permettant ainsi un fonctionnement plus stable du digesteur.

2.5 Production de boues

Dans la technique aérobie, le processus biologique qui réalise l'élimination de la pollution organique soluble est l'utilisation de la pollution comme substrat de croissance, et donc sa transformation en micro-organismes (boues). Cette technique produit donc en principe beaucoup de boues.

Dans la digestion anaérobie par contre, le processus biologique consiste en la transformation de cette matière organique en méthane et gaz carbonique principalement donc en gaz qui quitte le milieu aqueux. La quantité de micro-organismes issus de la croissance sera donc faible et seule une petite quantité de boues sera produite. On peut considérer que l'on produit environ 5 ~ % de la DCO consommée en boues biologiques (à titre de comparaison, les boues activées produites représentent 10 à 30 ~ % de la DCO consommée)

2.6. Autres

Le potentiel d'oxydo-réduction de la digestion anaérobie du milieu liquide est relativement bas, de -250 à -600 mV. C'est une condition nécessaire pour que les micro-organismes méthanogènes qui sont des anaérobies strictes fonctionnent.

Il faut considérer que les micro-organismes sont mis en œuvre le plus souvent dans des floccs microbiens, ou dans des biofilms bactériens ce qui créaient le plus souvent des niches écologiques particulières avec de conditions physico-chimiques différentes de celles du milieu.

Les micro-organismes nécessitent pour fonctionner un nombre de nutriment variés. En plus des substrats organiques qui serviront de sources d'énergie et qui apporteront les « briques de construction » de la croissance les micro-organismes ont besoin d'oligoéléments comme des vitamines, des métaux (nécessaire au fonctionnement des co-enzymes) par exemple. D'une manière générale, les effluents des IAA, issu principalement du traitement de matériel biologique, contiennent tous ces éléments (contrairement aux effluents des industries chimiques par exemple).

3. Mise en œuvre de la digestion anaérobie

3.1. Stabilité de la digestion anaérobie.

Comme pour toute réaction biologique, l'expression des microorganismes dans un milieu dépend des conditions physico-chimiques qui y règnent. Les valeurs de pH, de la température, du potentiel d'oxydoréduction, des concentrations des divers minéraux, métaux et molécules organiques doivent être dans une zone compatible avec l'expression du vivant. Des variations brusques de ces conditions seront bien plus néfastes que des variations lentes.

Parmi ces différents facteurs de stabilité, la pression partielle en hydrogène joue un rôle fondamental car elle va conditionner la valeur de l'enthalpie libre de bon nombre de transformations (tableau 4).

La figure 4 trace l'influence de la pression partielle sur la variation de l'énergie libre des réactions de dégradation des principales molécules intermédiaires (éthanol, propionate, du butyrate) et de la principale réaction de consommation de l'hydrogène (production de méthane à partir du CO_2 et de H_2), on s'aperçoit que la niche écologique

de fonctionnement de la méthanogénèse (zone de la pression partielle de H₂ ou l'énergie libre est négative pour toutes les réactions impliquées) est donc relativement étroite. Elle est voisine de 10⁻⁴ à 10⁻⁶ atm d'H₂. Elle est maintenue a ces valeurs principalement par la méthanogénèse hydrogénophile. La forte augmentation de l'hydrogène dans le biogaz est un indicateur de déséquilibre du réacteur.

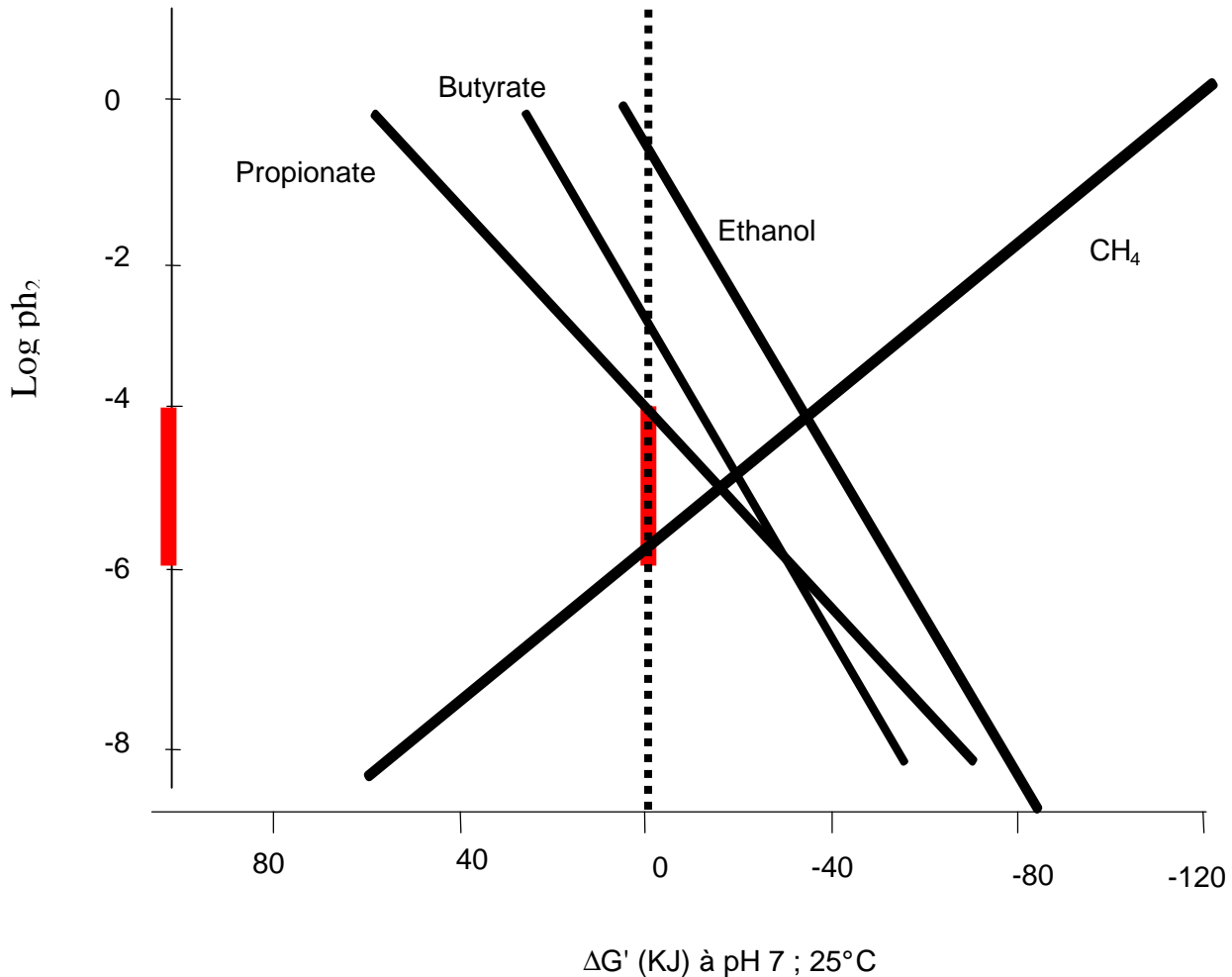


Figure 4 : Influence de la pression partielle d'hydrogène sur la variation d'énergie libre lors de la dégradation de l'éthanol, du propionate, et du butyrate avec formation de méthane à partir du CO₂ et du H₂.

La stabilité des procédés biologiques de dépollution dépend aussi de l'adéquation entre la charge organique appliquée (flux du carbone entrant) et de la capacité réactionnelle de la communauté bactérienne du bio-réacteur. Cette dernière sera conditionnée par la quantité de micro-organismes actifs (et notamment ceux qui déterminent la réaction limitante) et les valeurs des paramètres physico-chimiques appliqués au réacteur.

La vitesse limitante des flux métaboliques de la digestion anaérobie des molécules solubles, est généralement l'étape de méthanogénèse acétoclaste ou bien l'acétogénèse. Il s'ensuit qu'une charge organique supérieure à ces capacités de

transformation peut entraîner une accumulation d'hydrogène liée à une accumulation d'AGV. Le pH peut diminuer et inhiber les autres transformations microbiennes.

3.2 Les inhibitions

Le vivant ne peut s'exprimer dans une gamme de conditions physico-chimiques bien définies. Il est perturbé voire détruit si un produit est en trop forte ou manquant, ou s'il est en présence d'une molécule toxique qui agira à de très faibles concentrations. Cette toxicité ou inhibition se traduira le plus souvent par les caractéristiques classiques de déstabilisation des digesteurs (accumulation d'hydrogène et des AGV, chute du pH.....).

Le tableau 7 reporte quelques concentrations inhibitrices de composés minéraux.

3.3. Contrôle et conduite de la digestion anaérobie

Dès le démarrage d'un digesteur et la mise en place des conditions de fonctionnement opératoires, la digestion anaérobie nécessite un minimum de surveillance. De manière générale l'acquisition des valeurs des paramètres à contrôler peut être manuelle ou automatique. Par contre la conduite est généralement manuelle (bien qu'il y ait beaucoup à gagner d'une conduite automatique).

Le choix des paramètres contrôlés en routine va être conditionné en partie par le type d'effluent, la technologie utilisée et la connaissance que l'on a acquise sur le traitement Certains paramètres sont mesurés et d'autres sont aussi régulés.

Substance	Concentration de quelques substances qui sont :	
	Modérément inhibitrices (mg.l ⁻¹)	Fortement inhibitrices (mg.l ⁻¹)
Sodium	3500-5500	8000
Potassium	2500-4500	12,000
Calcium	2500-4500	8000
Magnésium	1000-1500	3000
N - ammoniacal	1500-3000	3000
Sulfure	200	200
Cuivre		0,5 soluble 50 -70 total
Chrome(VI)		3,0 soluble 200-600 total
Chrome (III)		180-420 total
Nickel		2,0 soluble 30 total
Zinc		1,0 soluble

Tableau 7 Concentrations de molécules minérales pouvant être inhibitrices sur les micro-organismes de la digestion anaérobie.

On distingue deux types de paramètres : ceux qui indiquent que les conditions opératoires sont respectées et ceux qui donnent des informations sur l'état et les performances de l'activité biologique. Ils sont mesurés soit en entrée , soit en sortie ou parfois sur des boucles de recirculation.

Pour les premiers ce sont surtout des mesures de débits liquides (alimentation, recirculation), de températures et de caractéristiques physico-chimiques de l'effluent à traiter.

Pour les seconds, on mesure généralement dans l'effluent de sortie, les valeurs de DCO soluble et totale, du pH, potentiel d'oxydo-réduction des matières en suspension, de l'alcalinité (due aux AGV et au bicarbonate), des acides gras volatils, des différentes formes de l'azote (principalement NH_4^+), du phosphore... et des caractéristiques du biogaz produit (débit et composition).

La nature et la fréquence de ces mesures dépendra souvent du temps de séjour appliqué, et de la nécessité qui peut se faire jour en fonction de l'état de fonctionnement du réacteur.

Généralement, le débit d'alimentation, les DCO à entrée, la température et l'alcalinité dans le digesteur, les DCO en sortie, le débit de biogaz et sa composition sont souvent suffisants pour se faire une idée de la stabilité du fonctionnement en routine.

Un digesteur peut être soumis à des perturbations (provisaires ou non) qui peuvent être liées à des fluctuations de l'effluent ou à des problèmes sur le procédé. Comme pour tous les réacteurs biologiques, leur bon fonctionnement est lié à l'adéquation de la quantité de pollution entrante, à la capacité de traitement de la population microbienne. Si celle-ci est trop faible, le réacteur est sous alimenté, si elle est trop forte le réacteur est en surcharge.

Pour identifier un début de perturbation qui pourrait aller jusqu'à la surcharge organique par exemple, certains paramètres sont plus pertinents que d'autres. Sur les liquides ce sont : la baisse du pH, la baisse de l'alcalinité due au bicarbonate, l'augmentation de la concentration en AGV (donc augmentation du Carbone Organique Total soluble -COTs -, de la DCOs...). Pour le biogaz ce sont généralement : l'augmentation de sa teneur en hydrogène, la baisse du débit, la diminution de sa teneur en CH_4 avec une augmentation de celle du CO_2 .

Bien sûr les calculs comme ceux des rendements, des charges massiques, des charges volumiques, des taux de production de biogaz, de son rapport CO_2/CH_4 peuvent aussi donner de précieuses informations sur l'état de fonctionnement de la population microbienne.