

1- Introduction

Tous les déchets organiques d'origine animale et végétale sont susceptibles d'être dégradés par des processus aérobies ou anaérobies.

La méthanisation (appelée également fermentation ou digestion) est en réalité une respiration microbienne anaérobie de résidus organiques solides ou en solution, présentant un intérêt énergétique puisqu'elle produit un gaz combustible. Cet avantage pourra conduire à opter pour des systèmes de traitement et d'épuration anaérobie des résidus ou des effluents, car ils assurent, au minimum, l'autonomie énergétique des procédés mis en œuvre.

La production de déchets a augmenté parallèlement à l'évolution du niveau de vie. Les conséquences de cette évolution sont:

- une augmentation des coûts de traitement et d'élimination des déchets de façon à ce que la charge sur l'environnement reste ou redevienne acceptable;
- une prise de conscience de la limitation des ressources en matières premières et en énergie.

Les politiques de **tri des déchets à la source**, actuellement mises en œuvre par les pouvoirs publics, ont été préconisées dans le but d'extraire un maximum de fractions valorisables afin de réduire les mises en décharge problématiques ou les incinérations indésirables.

Dans les entreprises industrielles, l'alimentation animale, le recyclage dans les circuits de production et les traitements biologiques peuvent entrer en considération. Dans l'industrie agro-alimentaire, l'affouragement constitue traditionnellement une forme de valorisation des déchets (marc de café pour les vaches laitières, lactosérum pour les porcs, etc.), qui se justifie pour des raisons économiques (vente de sous-produits) ou pour respecter les normes de rejet des eaux usées.

Le traitement des effluents organiques d'origine industrielle, souvent assimilés aux effluents urbains, a encore trop souvent lieu dans une STEP classique à aération, la STEP communale ayant pour fonction d'éliminer les charges industrielles au même titre que les charges urbaines. Certains industriels produisant des charges polluantes relativement élevées participent financièrement aux frais d'exploitation de la STEP en fonction des caractéristiques des effluents apportés. Non seulement cette contribution financière représente une perte sèche pour l'industriel, mais, pis encore, certains effluents agro-industriels s'accommodent très mal des traitements aérobies et ne subissent qu'un rabattement de charge polluante totalement insuffisant. C'est le cas par exemple des effluents vitivinicoles qui, pour subir une dégradation aérobie efficace, doivent au préalable être soumis à une étape anaérobie, sans quoi ils perturbent saisonnièrement la marche des STEP urbaines en ne subissant qu'une faible réduction. Personne n'y trouve alors son compte : l'industriel paye pour rien, la STEP est perturbée et fonctionne à faible rendement et l'environnement reçoit une charge supplémentaire et indésirable de matière organique.

NB :

- ✓ Qu'ils soient valorisés par compostage, épandage direct ou méthanisation, les déchets ménagers et industriels doivent être dans le meilleur état de pureté possible et se caractériser notamment par l'absence de métaux lourds et de micropolluants organiques. Seul un **tri à la source** permet d'atteindre cet objectif, à l'exclusion de tout système visant à séparer en usine des fractions mélangées lors de la collecte.
- ✓ Il en va de même pour les eaux usées pour lesquelles on veillera à éviter la dilution (eaux

pluviales de surface, eaux de procédé, etc.) et le mélange avec des eaux de nettoyage (présence de détergents).

2- Types des procédés de traitement des déchets et effluents

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour le traitement des déchets et des effluents organiques, ces méthodes sont classées principalement en **procédés aérobies** et **procédés anaérobies**.

Selon les caractéristiques des déchets ou effluents à traiter, l'un ou l'autre des procédés peut être envisagé, ce qui permet une optimisation du processus et des résultats recherchés. Chacune des voies possède ses avantages et ses inconvénients, mais **quatre différences essentielles** distinguent ces deux mécanismes:

a- Le bilan énergétique :

Le traitement aérobie exige une aération prolongée qui se traduit par une dépense énergétique élevée pour pulser l'air et par une perte d'énergie thermique non récupérable, provenant de la dégradation des matières fermentescibles.

Le traitement anaérobie se passe non seulement d'une aération énergétiquement dispendieuse, mais produit encore du biogaz utilisable pour assurer l'équilibre du bilan énergétique du processus lui-même et pour constituer une ressource d'appoint pour des applications industrielles.

b- Réduction des volumes de matières à traiter

Le traitement aérobie transforme la matière organique essentiellement en biomasse et en CO₂ **alors que** le traitement anaérobie transforme essentiellement la matière organique en gaz combustible et en CO₂.

c- Infrastructure des installations

Le traitement aérobie fait appel dans la plupart des cas à des **moyens techniques relativement simples** alors que le traitement anaérobie demande des **installations plus complexes** et qui peuvent engendrer des investissements comparativement plus importants. Les emprises de terrains nécessaires à la mise en œuvre de traitements aérobies sont cependant plus importantes que celles requises par des traitements anaérobies.

d- Phases impliquées dans la dégradation

Du point de vue de la dégradation des substrats, le traitement aérobie met en jeu trois phases : **gazeuse** (oxygène nécessaire), **liquide** (milieu dans lequel vivent les microorganismes) et **solide** (les microorganismes eux-mêmes et souvent aussi les particules à dégrader), **alors que** le traitement anaérobie est un procédé à deux phases : **liquide** (habitat des bactéries) et **solide**. Le biogaz est un produit dont la concentration n'influence guère la dégradation des substrats. La dégradation aérobie constitue un système difficile à optimiser, en particulier pour des déchets solides.

Conclusion : En fonction de ces quatre critères, nous pouvons formuler l'appréciation suivante : si une grande importance est attribuée à la réduction du volume des déchets ultimes, à la charge polluante de l'effluent traité ainsi qu'au coût de la dépense énergétique, accessoirement si la production d'un combustible de substitution s'avère utile, le choix devra alors logiquement se porter sur une technique anaérobie.

Exemples des procédés aérobies et anaérobies appliqués pour le traitement des déchets et effluents organiques :

Procédés aérobies	Procédés anaérobies
Compostage ; épandage ; incinération ; bioséchage	Méthanisation ; pyrolyse ; fermentation

3- Domaines d'application

Le tableau suivant présente les principaux secteurs d'activités dont certains déchets et effluents peuvent faire l'objet d'un traitement anaérobie (par méthanisation):

Secteur d'activités	Déchets méthanogènes	Effluents méthanogènes
Assainissement urbain	Fraction organique des ordures ménagères Déchets d'entretien paysager (gazons, coupes d'herbes, feuilles mortes, plantes aquatiques) Papiers très souillés Déchets de restauration collective, de marchés grandes surfaces	Boues d'épuration
Agro-alimentaire		
• Industrie laitière		Lactosérum, eaux de procédé
• Industrie sucrière	Gâteaux de pressage des betteraves, mélasses	Eaux résiduelles (lavage, pressage, procédé)
• Distilleries		Vinasses, levures
• Abattoirs	Contenus de panses Excréments et débris divers	Effluents des locaux d'abattage, d'étables et de boyauderies
• Industrie des jus de fruits	Restes de fruits, matières en suspension et boues	Eaux de lavage et de transport
• Brasseries	Résidus de drèches et de houblon, trouble d'albumine, levure	Eaux de lavage, de nettoyage et de refroidissement
• Industrie de la pomme de terre	Purée d'épluchage, boue de décantation des eaux de lavage, farine, produits frits, crus et surgelés	Eaux de lavage, de transport et de refroidissement, eaux de pressage de pulpe, eaux de lavage de la féculé
• Production et conserveries de fruits et légumes	Déchets de production et de fabrication	Eaux de lavage et de blanchiment
• Industrie vitivinicole	Marc de raisin	Vinasses
• Fabriques de margarines, de graisses et d'huiles	Débris de tamisage	Eaux de nettoyage, d'extraction, distillat
• Préparation de café et de thé	Marc de café, refus d'extraction	

<p>Autres industries</p> <ul style="list-style-type: none"> • Industrie pharmaceutique cosmétique • Industrie papetière 		<p>Bouillons de culture usés (fab. antibiotiques), boues de mycélium, eaux de lavage</p> <p>Eaux de procédé de fabrication de la pâte à papier cuisson des chiffons, des cartonneries, de la production de papier.</p>
--	--	--

4- Critères d'appréciation

Les critères d'appréciation sont les paramètres à évaluer pour déterminer l'applicabilité de la digestion anaérobie, ces critères dépendent essentiellement des objectifs de traitement, comme c'est le cas pour les effluents, ou de valorisation, comme c'est le cas pour les déchets. Nous avons :

- **Critères en communs aux effluents et aux déchets** : température, composition en nutriments.
- **Critères des effluents** : charge organique (DCO ou DBO), matières en suspension, substances toxiques et inhibitrices.
- **Critères des déchets solides** : origine et nature.

4.1. Critères communs aux effluents et aux déchets

4.1.1. Température

La majorité des unités industrielles de méthanisation fonctionne en régime de température mésophile (30-40° C), correspondant bien souvent avec les températures de rejet des déchets et effluents industriels. A de plus hautes températures, ou lorsqu'il s'agira d'hygiéniser les déchets en vue de leur valorisation agronomique, on pourra mettre en œuvre des digesteurs thermophiles (50-60° C). Lorsque les résidus liquides ou solides se présentent à de trop faibles températures, on doit alors les réchauffer par une source énergétique auxiliaire ou par autoconsommation du biogaz. Le réchauffage des matières fraîches peut être réalisé par échange thermique sur le produit digéré.

4.1.2. Composition en nutriments

Les bactéries méthanogènes requièrent, pour leur métabolisme, certaines substances nutritives dont la carence constitue un facteur limitant. La combinaison de certains types de déchets permet de satisfaire à ces exigences (par exemple codigestion de déchets ménagers, pauvres en azote et en soufre, avec des boues d'épuration riches en ces nutriments). Globalement, le milieu de culture doit avoir des teneurs en C, N et P dans la proportion d'environ 100-4-1. D'autres éléments, tels que Na, K et Ca, ainsi que des oligo-éléments tels que Zn, Cu, Mg, influencent la production gazeuse.

4.2. Critères des effluents

4.2.1. Charge organique exprimée en DCO

Les effluents fortement (> 15 000 mg DCO/l) ou moyennement (> 2000 mg DCO/l) chargés peuvent être traités efficacement par digestion anaérobie. Les domaines d'application

communément admis pour les traitements aérobies et anaérobies sont résumés dans le schéma suivant. Les procédés aérobies sont prédominants pour les effluents présentant des DBO ou des DCO biodégradables inférieurs à 2000 mg/l. Entre 2000 et 30 000 mg/l, les systèmes anaérobies d'épuration, qu'ils soient de type conventionnel ou à haute performance, sont applicables. Les effluents très concentrés contenant plus de 20 000-30 000 mg DCO/l, ou présentant de fortes teneurs de matières en suspension, sont communément traités par méthanisation.

4.2.2. Matières en suspension

Lorsque, pour un effluent donné, le rapport DCO totale/DCO soluble est plus grand que 1, le rabattement complet de la charge polluante ne peut être atteint qu'en éliminant conjointement les matières organiques solubles et en suspension durant le traitement. Les teneurs limites de matières en suspension sont empiriquement fixées à 10 % de la DCO totale pour des systèmes à haute performance. Pour des eaux usées contenant plus de 50 % de la DCO totale sous forme particulaire, il peut s'avérer économiquement intéressant d'utiliser un traitement anaérobie à faible taux de charge organique (1- 4 kg DCO/m³.jour) plutôt que de réaliser une étape de prétraitement. Il convient par ailleurs de savoir si les matières en suspension sont biodégradables; si tel est le cas, elles subiront également, mais plus lentement, une dégradation anaérobie.

4.2.3. Substances toxiques et inhibitrices

Les effluents industriels sont susceptibles de contenir des substances toxiques ou inhibitrices pouvant, dans certains cas, perturber le fonctionnement des réacteurs anaérobies. Cette toxicité dépendra de la nature des composés toxiques, de leur concentration et du degré d'adaptation des microorganismes à ces derniers.

4.3. Critères des déchets solides

Origine et nature

Les substrats solides disponibles pour la méthanisation sont essentiellement des résidus urbains et industriels, dont la composition chimique est variable. Les glucides y sont prédominants et sont représentés par la cellulose et les hémicelluloses. Les résidus végétaux de nature ligno-cellulosique sont particulièrement résistants à l'action bactérienne et conviennent moins à la digestion anaérobie. L'état hydrique des déchets est également déterminant dans le choix du mode de valorisation. Si la teneur en matière sèche est de l'ordre de 30-35 %, la méthanisation est la plus intéressante.