

Procédés anaérobies de traitement des déchets

Naturgerechte Technologien, Bau und Wirtschaftsberatung
(TBW) GmbH
et Siaka Koné

(Mars 2000)

Technical Field:	
<input type="checkbox"/>	Energy / Environment (E)
<input checked="" type="checkbox"/>	Water / Sanitation (W)
<input type="checkbox"/>	Agriculture (A)
<input type="checkbox"/>	Foodprocessing (F)
<input type="checkbox"/>	Manufacturing (M)
This Technical Information is available in:	
<input checked="" type="checkbox"/>	English (e)
<input checked="" type="checkbox"/>	French (f)
<input checked="" type="checkbox"/>	German (g)
<input type="checkbox"/>	Spanish (s)
<input type="checkbox"/>	Other:.....

1. INTRODUCTION

Enoncé du problème

L'amoncellement des déchets sur l'ensemble de la planète, conséquence de la croissance démographique ainsi que de l'évolution des méthodes de production et des habitudes de consommation, fait peser une lourde menace sur la santé des populations et sur l'environnement. Les grandes agglomérations sont plus menacées que les zones rurales. Les dégradations se manifestent au niveau des cours d'eau, des sols, de l'atmosphère et du climat. Quant aux effets sur la santé, ils affectent l'ensemble de la population, tout comme la flore et la faune. Face aux quantités de résidus de production et de consommation dénaturés, la nature à elle seule n'est plus en mesure de les éliminer, absorber ou valoriser sans traitement préalable.

En particulier dans les pays les plus pauvres, des déchets éparpillés dans la nature et des décharges anarchiques entraînent la prolifération de maladies infectieuses, répandent des odeurs nauséabondes et sont à l'origine de toutes sortes d'autres nuisances. Souvent, les déchets sont tout simplement déversés dans les cours d'eau ou répandus tels quels sur les sols cultivés, ce qui est extrêmement préjudiciable au milieu aquatique, à la végétation et aux denrées alimentaires.

Les solutions

Les populations étant entre-temps sensibilisées au problème des déchets et prenant conscience des coûts que la collectivité doit assumer du fait des dégradations qui en résulte, les pays industrialisés, en particulier, se dotent des moyens juridiques, administratifs et techniques nécessaires pour endiguer ce phénomène, ce qui parfois entraîne des dépenses considérables. Faire en sorte que les quantités de déchets cessent d'augmenter à un rythme effréné et obliger leurs producteurs à endosser la responsabilité de leur élimination (selon le principe du « pollueur-payeur ») semble bien le premier pas à faire, suivi du recyclage d'un maximum de résidus. Néanmoins, jusqu'à présent les potentiels de valorisation matérielle et énergétique des déchets sont à peine exploités ou uniquement de façon ponctuelle.

Mise en décharge

Le mode d'élimination le plus courant, tant dans les pays riches que dans les pays pauvres, est la mise en décharge des déchets. Cela suppose leur collecte et leur évacuation régulières. Les décharges peuvent présenter des niveaux de qualité très différents, du dépotier nauséabond à proximité des agglomérations, avec les risques qui en découlent pour la nappe phréatique et la santé des populations, à la décharge moderne contrôlée avec son tapis étanche de collecte des eaux de ruissellement et sa protection supérieure visant à empêcher ou à capter les émissions de gaz nuisibles au climat. Les inconvénients majeurs des décharges sont

leurs effets sur l'environnement qui persistent pendant des dizaines d'années, leur importante superficie, mais aussi les dangers qu'elles comportent pour la santé publique, sans oublier les risques d'explosion et d'incendie. C'est pourquoi, dans un pays comme l'Allemagne, on s'efforce d'éviter la création de nouvelles décharges en imposant des restrictions au niveau des types de déchets autorisés et des quantités admises et on envisage à long terme de renoncer complètement aux décharges.

Incinération des déchets

L'incinération des déchets permet d'exploiter une partie de l'énergie contenue dans les déchets, mais demande la mise en œuvre de moyens techniques beaucoup plus importants que la mise en décharge. Les rejets peuvent être évités dans une large mesure, moyennant des équipements sophistiqués et des coûts élevés (coûts du traitement 200-350 DM/t de déchets). L'incinération, tout comme l'élimination en décharge, portent sur des déchets de natures différentes. Ni l'un ni l'autre de ces procédés ne permet la récupération des déchets.

Recyclage des déchets

C'est ce qui explique que, dans différents pays, on voit se répandre de plus en plus des systèmes de collecte sélective, de tri, de reprise et de consignment, en vue de réduire les quantités de déchets et de recycler les matières premières (notamment métaux, verre, papier, plastiques, biomasse). Selon les pays, le tri sélectif des différentes fractions de déchets s'effectue au niveau des ménages, dans des centres de tri mis en place à cet effet, dans des installations de traitement spéciales ou sur le site de la décharge. Dans tous les pays, la plus grande fraction des déchets (en termes de volume et de poids) est constituée par des matières biodégradables (organiques). Leur pourcentage varie entre 25 % et 90 % et offre le potentiel le plus important de valorisation et de réduction des

quantités. En même temps, les substances biologiques contenues dans les déchets sont en grande partie responsable des émissions de gaz et d'odeurs nauséabondes, ainsi que de la pollution des eaux d'infiltration. C'est pourquoi, en Allemagne par ex., selon la nouvelle loi sur « la gestion des cycles » (*Kreislaufwirtschaftsgesetz*), l'élimination en décharge des déchets contenant plus de 5 % de matières organiques n'est plus autorisée.

Compostage

En Europe centrale, en particulier en Allemagne, on a, depuis une vingtaine d'années, mis au point et introduit un système de séparation et de compostage des déchets biodégradables secs (surtout branchages et résidus de jardinage), et édictés des textes de loi relatifs au traitement séparé des déchets organiques. Le compost ainsi obtenu est employé en agriculture pour l'amendement et la fertilisation des sols. Le compostage des matières organiques contenues dans les déchets s'accompagne d'un dégagement de chaleur. Cette chaleur n'est pas exploitée, mais contribue à améliorer les conditions d'hygiène. Les superficies nécessaires et le temps de traitement sont relativement importants. Si l'on décide d'épurer les gaz produits afin d'éviter les nuisances olfactives et les émissions de germes pathogènes, et donc de mettre en place une installation fermée, il faut prévoir des frais d'installation et d'exploitation très importants.

Traitement anaérobie des déchets

Depuis environ 15 ans, on voit donc apparaître en nombre croissant des installations de fermentation anaérobie pour le traitement de déchets essentiellement biologiques. Depuis une dizaine d'années, de telles installations sont en service en Allemagne dans les grandes agglomérations et même à la campagne, où l'on rencontre également des unités de traitement décentralisé.

Le traitement anaérobie des déchets présente les *avantages* suivants

- Outre les déchets biodégradables secs, il est également possible de traiter des matières humides telles les déchets de cuisine, les rebuts des industries alimentaires et les résidus agricoles.
- Grâce à l'exploitation du gaz et du potentiel énergétique que recèlent les matériaux, on peut produire de l'électricité, de la chaleur et du froid.
- Le substrat fermenté peut être réutilisé à l'état liquide ou sec.
- L'exploitation des installations ne nécessite que des surfaces relativement peu importantes.
- Le processus ayant lieu en enceinte fermée, les mauvaises odeurs sont réduites notablement si bien que les installations peuvent être implantées plus près des zones habitées. Les frais de transport peuvent être ainsi réduits.
- Les quantités de déchets évacués vers les décharges ou traitées dans les usines d'incinération peuvent ainsi être diminuées, en même temps que les émissions de polluants à partir de ces installations.

Les *inconvénients* sont

- La mise en œuvre de moyens techniques encore relativement importants, ce qui fait que,
- selon le mode de construction, il faut s'attendre à des frais d'investissement et d'exploitation parfois considérables.
- Le prélèvement d'une taxe sur les déchets est indispensable, en dépit des recettes provenant de la production d'énergie et de fertilisants. Les frais de traitement se chiffrent entre 70 et 200 DM/t.
- La technologie mise en œuvre est encore relativement récente et encore très peu répandue dans les pays en développement.
- La valorisation matérielle et énergétique des produits obtenus demande un certain savoir-faire.

La fermentation anaérobie dégage peu d'odeurs désagréables, permet le traitement d'une vaste gamme de substrats et présente un bilan énergétique positif. C'est ce qui explique que cette technique se soit entre-temps, tout au moins en Allemagne, bien établie comme système de traitement des déchets. On peut dire que l'avance technologique que le compostage avait au départ a depuis été rattrapée, si bien que le nombre d'installations de traitement anaérobie des déchets ne cesse d'augmenter.

Dans ce qui va suivre, nous allons passer en revue les différents procédés de fermentation des déchets utilisés en Allemagne et examiner les différentes applications et effets sur l'environnement dans le but de fournir aux intéressés de pays disposant de moyens financiers modestes les informations nécessaires à une prise de décision. En même temps, nous aborderons la question des possibilités de transfert de cette technologie et des concepts de gestion des déchets s'y rattachant à des pays hors de l'Europe.

2. LES PRINCIPAUX PROCÉDÉS DE FERMENTATION DES DÉCHETS

Les bactéries anaérobies ont une longue histoire. Les bactéries méthanigènes seraient, semble-t-il, la forme de vie la plus ancienne sur cette terre (apparition il y a environ 3,5 milliards d'années). La première expérience de production de biogaz fut faite par BOYLE en 1682 ; d'après les annales, le premier fermenteur de biogaz aurait été mis en service à Bombay en 1859. En 1967, BRYANT décrit la décomposition anaérobie du carbone, selon un modèle à peine modifié depuis. L'exploitation technologique de l'activité microbienne anaérobie peut avoir lieu dans différentes conditions et selon divers processus, leur dénominateur commun étant l'absence d'oxygène.

Dans le tableau ci-après, on trouvera un classement des différents processus de fermentation utilisés pour le traitement des

déchets organiques avec indication des différentes étapes, particularités et spécifications requises.

Aperçu des différents processus de fermentation (selon TBW GmbH, Francfort)

1	Exigences en ce qui concerne la composition du substrat c.-à-d. seuils limites, par ex. teneur en matière sèche, pourcentage et longueur de fibres, granulométrie, viscosité, teneur en matières étrangères			
2	Traitement préalable en vue de la réduction des substances nocives et inertes Ex. : tri à la main, sélection mécanique/magnétique, traitement humide			
3	Opérations préalables nécessaires pour la mise en œuvre du processus par ex. : broyage et désagrégation : mécanique, chimique, enzymatique, thermique, bactériologique (méthodes, ingrédients utilisés) Créneau de teneur en matière sèche : ajout d'eau de processus (Fermentation à l'état sec, fermentation à l'état humide) En cas de chargement discontinu, nécessité d'un mélange avec d'autres matières fermentescibles			
4	a) Processus			
	Fermentation en une phase		Fermentation en deux phases	
	Processus mono-étagé	Processus polyétagé	Phase solide fixe/ phase liquide mobile	Phase solide mobile/ phase liquide fixe
			Concentration	Déconcentration
	b) Plage(s) de température de fermentation (mésophile / thermophile) c) Agitation/malaxage – système d'agitation/système de malaxage d) Mode de transport d'un étage à l'autre (par ex. pompe, gravité) e) Elimination des sédiments /éléments flottants lors de la fermentation f) Temps de séjour g) Equipements pour le contrôle des caractéristiques du milieu h) Séparation de phase en fin de fermentation			
5	Traitements ultérieurs			
	Maturation (par ex. délai pour l'obtention du degré de maturation V, courbe de température pendant le processus de maturation), séchage, stérilisation, réduction de la quantité de sel (nutritif), épuration des eaux			
6	Produit final/produits finals			
	c.-à-d. spécification selon des critères connus (par ex. degré de maturation, degré d'aseptisation, taux de nitrate/salinité)			

3. UTILISATION DE PROCÉDÉS ANAÉROBIE POUR LE TRAITEMENT DES DÉCHETS

Suite au choc pétrolier des années soixante-dix, la production d'énergie par la fermentation anaérobie de substrats riches en carbone connut un regain d'intérêt et on vit ainsi apparaître un certain nombre d'installations utilisant ce procédé. Néanmoins, la chute des cours du pétrole au cours de années quatre-vingt mit bientôt un terme à cette évolution. Aujourd'hui, de telles installations sont encore utilisées uniquement pour la digestion des boues résiduaires dans presque toutes les grandes stations d'épuration.

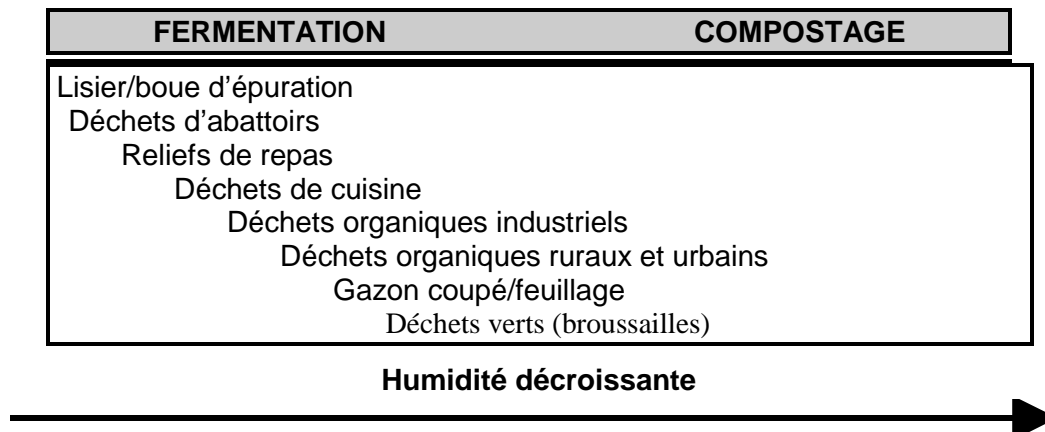
Malgré les efforts déployés par un certain nombre de sociétés depuis le milieu des années quatre-vingt-dix afin de propager le traitement anaérobie des déchets biodégradables, il aura fallu attendre 1992 pour voir apparaître en Allemagne, à Kaufbeuren, la première installation de fermentation de déchets organiques à

grande échelle (NIEDERMEIER et al., 1994). Depuis, le nombre de fermenteurs en service et de procédés de fermentation a considérablement augmenté.

Le traitement anaérobie des déchets organiques communaux et urbains ne date donc que d'une vingtaine d'années. Les applications courantes du traitement anaérobie des déchets solides sont

1. Le traitement anaérobie des déchets organiques communaux et urbains
2. La cofermentation de déchets organiques collectés séparément et de déchets agricoles, mais aussi d'eaux résiduaires et de résidus industriels.
3. La cofermentation dans les digesteurs de stations d'épuration communales de déchets organiques collectés séparément
4. La fermentation dans le cadre d'un concept de traitement mécanique et biologique des déchets.

Classement des déchets organiques selon leur aptitude à la fermentation ou au compostage



Substrats se prêtant particulièrement au traitement dans les installations de fermentation des déchets

- Ordures ménagères biodégradables (poubelle biologique)
- Reliefs de repas et restes de viande provenant de la préparation des repas
- Reliefs de repas provenant de cantines, réfectoires etc.
- Epluchures de légumes
- Résidus de récolte
- Déchets organiques provenant du traitement des produits alimentaires
- Déchets de conserveries et usines de préparation du poisson
- Produits laitiers
- Déchets d'abattoirs
- Gazon coupé, herbes de surfaces désaffectées
- Mélanges de plantes vertes fanées, provenant d'espaces verts, cimetières, etc., plantes sauvages
- Déchets organiques de l'agriculture tels résidus de végétaux, litières, ensilages gâtés
- Résidus de la fabrication des fourrages
- Lisier et fumier sous forme solide
- Vinasse et drêches de brasserie
- Déchets de thé et de café
- Résidus de la préparation de l'amidon
- Papiers/cartons souillés, non récupérables
- Résidus organiques de l'industrie chimique
- Résidus de l'industrie cosmétique

3.1. Le traitement anaérobie des déchets organiques communaux et urbains

Préparation

Les procédés de fermentation des déchets se classent selon le mode de traitement des résidus biodégradables. Ainsi, on distinguera la fermentation à l'état sec et la fermentation à l'état humide. Les performances du traitement biologique, la qualité des résidus de fermentation et le type et la quantité des eaux usées à traiter dépendront en grande partie du mode de traitement préalable qui aura été adopté.

Dans le cas de la **fermentation à l'état sec**, les déchets organiques conservent le degré d'humidité qu'ils avaient au moment de leur arrivée à l'installation. La teneur en matière sèche de déchets organiques se situe généralement entre 35 et 45 % de MS. La séparation des éléments indésirables a lieu tout comme pour le compostage avant et/ou après le traitement biologique, par tamisage, extraction magnétique et tri manuel. Dans la grande majorité des cas, on ne pourra pas se passer d'un tri manuel des matières premières.

Dans le cas de la **fermentation à l'état humide**, les déchets organiques sont mélangés à de l'eau fraîche et/ou recyclée, pour former une suspension ayant une teneur en MS d'environ 10 %. La suspension, qui peut être pompée et subir une agitation, est passée à travers un crible afin d'en extraire les éléments indésirables avant le traitement biologique. L'eau ajoutée pour le trempage doit être à nouveau extraite de la masse après son traitement biologique au moyen d'appareils appropriés, tels décanteurs ou filtres-presses à plaques.

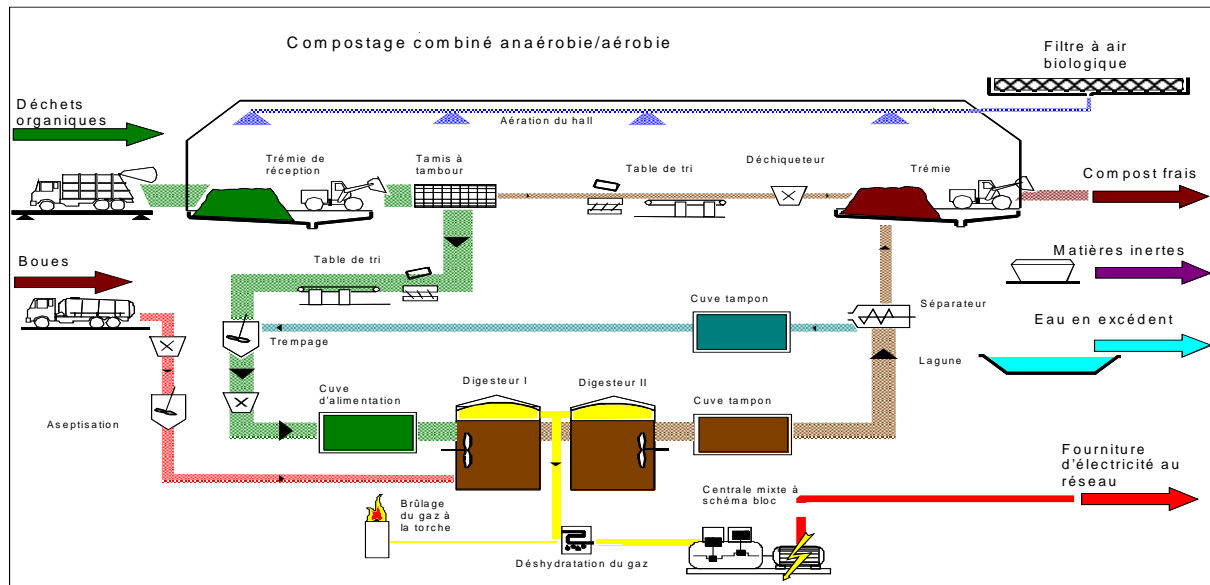


Fig. 1 : Exemple d'un cycle de fermentation des déchets à l'état humide

Traitement biologique

Les procédés de fermentation des déchets organiques s'inspirent largement des techniques utilisées couramment pour le traitement des boues d'épuration, déchets agricoles et eaux usées fortement polluées. Ainsi de nombreux réacteurs et combinaisons de procédés ne constituent pas des nouveautés en soi, mais sont des adaptations réalisées pour les besoins spécifiques du traitement des déchets organiques communaux et urbains. Parmi les différentes combinaisons de procédés envisageables, on distinguera :

- Les procédés monoétagés
- Les procédés à plusieurs étages
- Les procédés en deux phases

Chaque constructeur d'installations de fermentation pour déchets organiques présent sur le marché utilise une de ces trois variantes de base, que nous allons examiner successivement ci-après. Les réacteurs peuvent être exploités en mode continu, quasi-continu (intervalle de chargement : 3 à 6 fois par jour) ou en mode de chargement discontinu (un chargement pour chaque durée de séjour voulue).

Procédé monoétagé

Les réacteurs uniques peuvent être exploités en phase mésophile (35 °C) ou thermophile (55 °C). Seule l'exploitation en phase thermophile permet d'obtenir une aseptisation complète du résidu de fermentation. En cas de digestion mésophile, on prévoit souvent une pasteurisation préalable ou ultérieure des déchets organiques ou du résidu en vue de leur aseptisation. Les réacteurs à hautes performances tels les filtres anaérobies et les réacteurs UASB ne sauraient être utilisés pour le procédé à un étage en raison de l'importante teneur en solides de la masse de déchets ou de la suspension. Seuls les réacteurs à cuve à brassage, percolateurs ou réacteurs « plug flow », dans lesquels le temps de séjour des déchets organiques correspond au temps de séjour de la biomasse active, sont à retenir pour ce procédé. Les cuves à brassage du genre de celles utilisées pour la digestion des boues résiduaires sont souvent employées pour le traitement des déchets organiques à l'état humide. Le contenu du réacteur est alors soumis à un brassage permanent au moyen de pompes externes, d'arbres à pales hélicoïdales ou par introduction de gaz de digestion sous pression. Ce dernier

procédé est particulièrement avantageux, car malgré l'intensité du brassage, les forces de cisaillement s'exerçant sur les microorganismes restent faibles. Néanmoins, le risque de formation de couches flottantes, ou chapeaux, est accru.

Dans la fermentation à sec, il convient d'accorder une attention particulière aux effets de l'importante concentration en matières solides : ici, le contenu du réacteur ne pouvant qu'être difficilement soumis à un brassage continu, on a souvent recours à des réacteurs « plug flow » plutôt qu'à des réacteurs à « mélange infini ». Dans les réacteurs « plug flow », la masse des matériaux traverse l'appareil pratiquement sous la forme d'un bouchon. Pour mélanger la biomasse active aux déchets organiques, les matières premières sontensemencées avec des déchets recyclés.

Un avantage des réacteurs plug flow est l'assurance d'une durée de séjour définie à l'intérieur du réacteur, un court-circuitage du processus étant pratiquement exclu. Cela est particulièrement important, surtout lorsque l'on recherche une aseptisation des matières en digestion thermophile.

Les réacteurs à percolation, quant à eux, renoncent complètement au brassage de la masse en fermentation. Les déchets organiques sont introduits de façon discontinue dans le réacteur, la plupart du temps après avoir été mélangés avec des matières ayant déjà subi une fermentation (déchets recyclés). Dans le réacteur, les déchets à traiter sont arrosés d'eau de processus (percolation). En raison des contacts beaucoup moins nombreux, la production de gaz et donc le degré de stabilisation des résidus de fermentation sont très faibles. Les réacteurs à percolation sont souvent employés comme premier étage d'hydrolyse en amont d'un réacteur de méthanisation (voir procédés polyétagés et procédés à deux phases).

Procédé polyétagé

Par procédé polyétagé, il faut entendre ici un système constitué par plusieurs réacteurs présentant des caractéristiques de milieu différentes et qui sont traversés successivement par la masse de déchets à traiter.

Une association souvent utilisée est celle d'un premier étage d'hydrolyse suivi d'un second étage de digestion thermophile ou mésophile. L'avantage de cette solution est que l'hydrolyse peut se dérouler plus rapidement avec des pH faibles, les pH nécessaires à la digestion se situant entre 6,5 et 7,5. De cette façon, le volume du réacteur affecté à l'hydrolyse peut être relativement faible. La masse alimentant le digesteur est déjà en grande partie dissoute, ce qui fait que sa dégradation peut s'effectuer plus rapidement. Le digesteur peut donc lui aussi être de dimension modeste.

Les déchets organiques constituant un substrat très hétérogène, la capacité d'hydrolyse des différents constituants de ce substrat varie également. Pour les constituants organiques présentant des vitesses d'hydrolyse (dans l'hydrolyseur) inférieures à leurs vitesses de méthanisation (dans le digesteur), le processus à deux étages ne présente aucun avantage. Les déchets acidifiés en provenance de l'hydrolyseur présentant naturellement une très importante teneur en substrat dissous, il faut disposer de suffisamment de biomasse pour la méthanisation afin de se prémunir contre une acidification de la cuve du digesteur. Les bactéries responsables de la fermentation mésophile notamment se montrent très sensibles aux concentrations élevées de substrat dissous, alors qu'en fermentation thermophile ce genre de problème n'est pratiquement pas à craindre.

Pour savoir si l'acidification préalable des déchets organiques permet de réduire le volume du digesteur dans des proportions supérieures au volume de réacteur d'hydrolyse requis, on devra procéder à des examens à partir du substrat à traiter. Les processus de dégradation anaérobie

étant très intimement liés les uns aux autres, la décomposition en hydrolyse / acidification et acétogénèse / méthanogénèse risque d'entraîner de sérieux problèmes au niveau des techniques de régulation des processus. Hydrolyse et méthanogénèse de substrats aussi complexes que les déchets organiques ne sont guère aisés à dissocier. C'est pourquoi il peut s'avérer judicieux de prévoir une trémie de taille suffisamment importante pour la réception des déchets organiques dans laquelle les substrats facilement dégradables pourraient déjà être hydrolysés.

Un autre concept intéressant consiste, au lieu de dissocier les processus de fermentation de la manière décrite ci-dessus, à procéder à une séparation en fonction de la température. Dans un première étage, les bactéries thermophiles par exemple peuvent assurer la dégradation des substrats déjà en grande partie dissous en même temps que l'aseptisation, tandis que l'étage mésophile suivant se charge de la méthanisation des composés plus complexes. Ce « travail d'équipe » permet d'améliorer la stabilité du processus de fermentation et d'obtenir de notables améliorations des rendements. L'ordre inverse (mésophile – thermophile) paraît peu intéressant, les bactéries anaérobies mésophiles étant plus sensibles que les bactéries thermophiles. Par ailleurs, les déchets organiques stabilisés par digestion thermophile sont beaucoup plus difficiles à essorer (CHRIST et al., 1997), si bien que, de toutes façons, il faudrait prévoir un réacteur mésophile comme dernier étage.

Procédé en deux phases

De façon analogue au concept à deux étages de la dissociation de l'hydrolyse et de la méthanisation, selon le procédé en deux phases l'importante concentration en biomasse au sein du réacteur de méthanisation est obtenue au moyen d'un réacteur à haut rendement, par ex. filtre anaérobie, procédé à « boue de contact » ou procédé UASB (KUNST, 1982). Pour

les substrats facilement hydrolysables, comme par ex. les déchets homogènes des grands marchés, le procédé en deux phases peut parfaitement convenir. Cependant, les déchets organiques étant composés en majeure partie de substances difficilement hydrolysables, l'hydrolyse constitue pour la plus grande part du substrat le facteur qui va limiter la vitesse de dégradation si bien que ce processus ne permet guère d'escompter une réduction du temps de séjour. Il conviendra d'examiner pour chaque situation donnée si les dépenses à engager en termes d'équipements et d'énergie se justifient.

3.2. Cofermentation de déchets organiques et de déchets agricoles dans une installation de biogaz agricole

L'intégration des agriculteurs ou des horticulteurs dans le circuit des déchets biodégradables peut souvent paraître judicieuse, ceux-ci étant parmi les plus grands utilisateurs des produits issus de la fermentation (boue digérée ou compost). Néanmoins, en particulier chez les agriculteurs, l'emploi d'un compost anonyme confectionné à partir de déchets organiques urbains se heurte souvent à un certain scepticisme. Cela provient surtout du fait que les agriculteurs ne peuvent contrôler ni connaître l'origine des déchets, ni le traitement subi par ceux-ci. Dans le pire des cas, de tels problèmes de rejet peuvent remettre en cause tout le système de traitement biologique des déchets.

Le traitement combiné (cofermentation) des résidus organiques et des déchets agricoles dans des installations de biogaz agricoles peut ainsi conduire à une meilleure exploitation des produits finaux et en même temps améliorer les taux d'utilisation et la rentabilité des installations dont de nombreuses exploitations agricoles sont déjà équipées. Les taxes perçues pour l'élimination des déchets fournissent une source de

recettes supplémentaires aux agriculteurs. En Allemagne, on recense déjà plus d'une centaine d'installations de cofermentation.

Pour la cofermentation des déchets agricoles et des déchets urbains organiques pré-triés, les formes d'organisation ci-après sont de plus en plus répandues :

- Préparation et fermentation des déchets urbains organiques dans l'exploitation agricole et valorisation des boues digérées sur place. Dans le cas du traitement des déchets dans une exploitation pratiquant l'élevage, il est important de veiller à la plus grande propreté afin d'éviter la transmission de germes pathogènes pouvant être contenus dans les déchets.
- Tri sélectif des déchets urbains organiques par les agriculteurs dans une installation centrale, assurant

éventuellement également la fermentation des déchets, et valorisation des boues de digestion dans les différentes exploitations. Ce système résout le problème des coûts d'investissement relativement élevés par rapport à la quantité de déchets organiques à traiter lorsque le dispositif est mis en place dans des exploitations individuelles.

- Le système de traitement centralisé est néanmoins pénalisé par des frais de transport plus importants, les déchets agricoles devant être amenés à l'installation. Pour savoir si ces frais supplémentaires se trouvent compensés par la réduction des dépenses d'investissement, il faudra étudier chaque cas séparément.

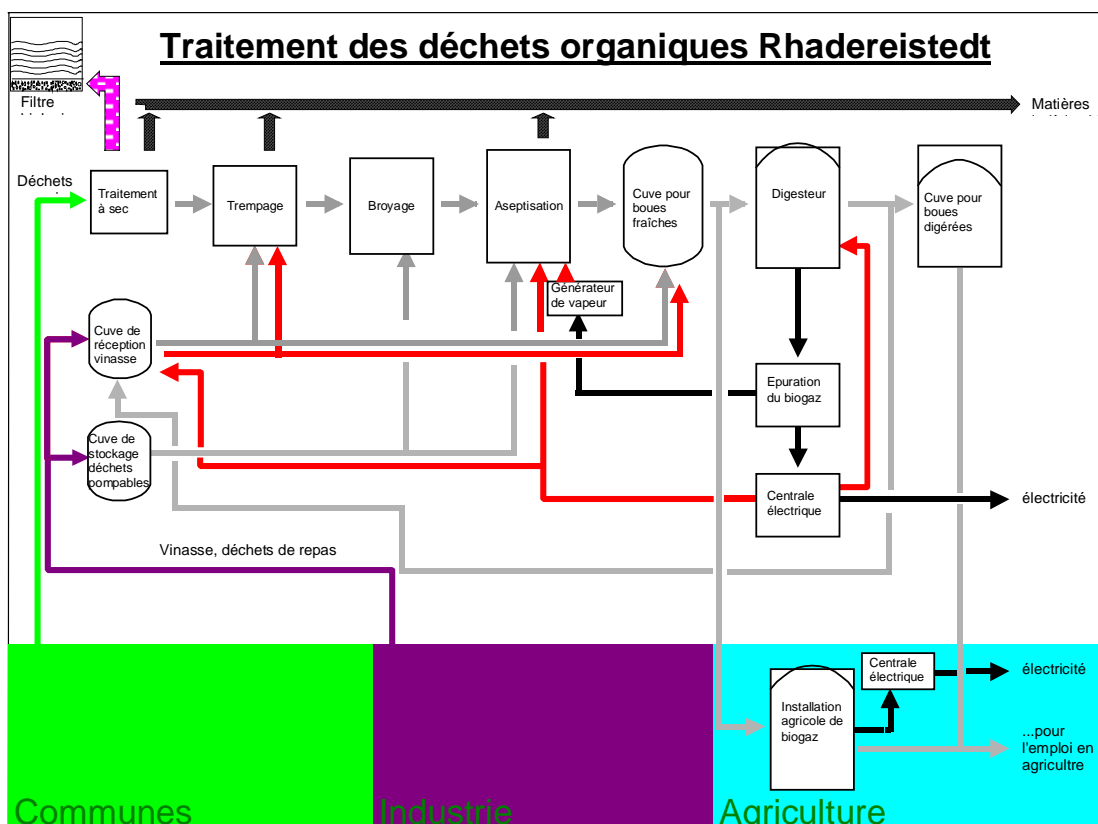


Fig. 2 : Cofermentation de déchets organiques communaux préalablement triés avec des déchets agricoles et industriels

La figure 2 montre le déroulement d'un processus dans lequel les déchets organiques communaux sont traités dans une installation centrale réalisant une suspension des déchets biodégradables qui est ensuite soumise à un traitement de fermentation avec des déchets agricoles dans des installations de biogaz réparties chez différents agriculteurs. Le traitement dans une installation centrale permet d'obtenir une boue de digestion de haute qualité constante (faible taux de substances indésirables), ce qui serait difficilement réalisable au niveau des exploitations individuelles. Les boues de digestion sont épandues directement sur les surfaces agricoles des exploitations environnantes, dont celles assurant la fermentation des déchets en suspension.

3.3. Cofermentation de déchets biodégradables avec des boues digérées dans les stations d'épuration

Le traitement des substrats biodégradables dans des digesteurs destinés au traitement des boues résiduaires des stations d'épuration a été rarement pratiqué jusqu'à présent. En dépit des questions d'ordre juridique que cela peut soulever, la cofermentation des déchets organiques communaux devrait présenter un grand intérêt économique et logistique en de nombreux endroits :

- Là où par exemple la capacité des installations retenue lors de la planification n'est pas pleinement exploitée. C'est ce qui est le cas dans la plupart des stations d'épuration de l'Allemagne fédérale, où d'importantes marges de sécurité sont souvent prises en compte pour le dimensionnement des cuves (en raison des fluctuations au niveau des quantités de boues attendues, des incertitudes en ce qui concerne l'épaississement ou les durées de séjour) qui ne se sont pas avérées nécessaires dans la pratique.

- La cofermentation de substrats supplémentaires permet ainsi une meilleure exploitation des digesteurs. La teneur en matières solides à l'intérieur du réacteur augmente de même que la production de gaz. Le bilan énergétique du processus de digestion se trouve amélioré de même que la rentabilité de l'installation dans son ensemble.

Outre la question du traitement des cosubstrats - qui peut éventuellement nécessiter des investissements supplémentaires -, des modifications éventuelles au niveau de la consistance des résidus de fermentation et de l'eau de pressage, qui présentent un comportement différent selon la structure et la composition, peuvent être un sujet de préoccupation pour l'exploitant d'une station d'épuration. Par ailleurs, la cofermentation entraîne souvent une légère altération des paramètres DCO, DBO₅ et TKN.

3.4. Traitement mécanique et biologique des déchets mixtes et résiduels avec étage biologique de fermentation anaérobie

Par déchets résiduels, on désigne la fraction de déchets qui subsiste dans les poubelles après élimination des déchets faisant l'objet d'une collecte sélective. En Allemagne, cette fraction ne contient donc pratiquement plus de verre, papier, emballages, déchets organiques et dangereux. Malgré tous les efforts mis en œuvre au niveau du tri préalable, on constate que ces quantités de déchets, bien que nettement réduites, contiennent aujourd'hui encore une fraction importante (25-50 %) de substances organiques susceptibles d'être dégradées biologiquement. Or cette fraction de déchets fait de plus en plus souvent l'objet d'un traitement biologique, notamment une fermentation anaérobie avec production d'énergie et effet stabilisant, après avoir subi divers traitements préparatoires (broyage,

criblage). Les résidus de cette opération subissent la plupart du temps un pressage et sont ensuite éliminés en décharge ou incinérés.

4. EFFETS DU TRAITEMENT ANAÉROBIE DES DÉCHETS SUR L'ENVIRONNEMENT

4.1. Protection du climat

- Les décharges sans captage, épuration ou valorisation des gaz et où les déchets comportent un taux important de matières organiques, comme c'est le cas en particulier dans les pays du tiers monde, sont les plus problématiques en ce qui concerne les effets sur le climat.
- Les effets néfastes sur le climat sont dus avant tout aux émissions gazeuses, notamment sous forme de méthane (qui selon l'horizon temporel a un effet 21 à 56 fois plus néfaste sur le climat que le dioxyde de carbone). C'est pourquoi en Allemagne par exemple la mise en décharge de déchets comportant > 5 % de matières organiques a été interdite, même après compostage, ceci en raison des effets sur le climat (un autre aspect non négligeable est celui des risques d'incendie et d'explosion, sans oublier les nuisances olfactives).
- Dans la plupart des pays en développement, les usines d'incinération posent de sérieux problèmes en raison de la dépollution insuffisante. A cela vient s'ajouter le fait que les investissements initiaux, mais aussi les frais d'exploitation ne sont pas financés la plupart du temps. Compte tenu des conditions climatiques, les seules solutions de substitution raisonnablement envisageables seront donc la plupart du temps le compostage et la fermentation.
- Selon la qualité et la régularité de l'aération, des zones anaérobies apparaissent également lors du compostage si bien que, là également, du méthane peut s'échapper dans l'atmosphère. Une aération forcée demande d'importantes quantités d'énergie (la plupart du temps produites au moyen de combustibles fossiles) qui, bien que dans des proportions moindres, portent préjudice au climat. Si l'effet d'aération est obtenu par simple retournement des matériaux, on pourra réduire d'autant les besoins en énergie. Le risque d'apparition de zones anaérobies ainsi que de formation de moisissures subsiste néanmoins et variera en fonction du système d'aération et des conditions d'exploitation.
- Les procédés anaérobies, quant à eux, permettent d'exploiter le méthane produit lors du processus de fermentation, produisent eux-mêmes l'énergie nécessaire au processus tout en fournissant un excédent énergétique (qui peut se substituer à des combustibles fossiles) et peuvent donc le mieux contribuer à la protection du climat.
- Là où l'on parvient également à réduire des coûts de transport, les émissions néfastes pour le climat (énergies fossiles) diminuent également du fait de la réduction des mouvements de véhicules de transport.
- Si l'on compare les procédés fermentation, compostage et mise en décharge (sans captage des gaz, avec brûlage des gaz à la torche, avec exploitation du gaz) sur le plan de leurs effets sur le climat, on obtient le tableau suivant :

Tableau 1 : Processus de traitement des déchets et leurs effets sur le climat (tendance)

	Fermentation avec exploitation du gaz	Décharge*			Compostage
		sans captage du gaz	avec captage du gaz + brûlage à la torche	avec exploitation du gaz	
Absence d'émissions de méthane dans l'atmosphère	oui	non	oui/non**	oui/non**	oui
Réduction des émissions par la fourniture d'énergie de substitution à des utilisateurs externes	oui	non	non	oui	non
Faibles besoins en sources d'énergie fossiles	oui	oui	oui	oui	non

* Là où, dans les décharges, il n'y a pas d'exposition des déchets à l'air, il s'agit en fait de « processus anaérobies » contrôlés ou non contrôlés.

** Selon la qualité du système de captage des gaz mis en œuvre. Il n'y aura pas d'émissions que là où il n'y a pas de fuite de gaz dans la décharge.

4.2. Protection des cours d'eau

En de nombreux endroits, les eaux d'infiltration en provenance de décharges sont une source de pollution de la nappe phréatique :

- Le problème est avant tout celui des effets à long terme de décharges non suffisamment étanchéifiées sur les cours d'eau.
- La nature des déchets et leur toxicité sont rarement connus. Cette toxicité peut également varier au fil des années selon l'évolution des phénomènes de lixiviation.
- Bien souvent, des déchets sont tout simplement déversés dans les cours d'eau et fleuves qui servent à l'approvisionnement en eau potable.
- Lors du traitement anaérobie des déchets, de grandes quantités de

filtrat peuvent être également produites lors de l'essorage. Ces effluents doivent également faire l'objet d'une épuration afin d'éviter la pollution du milieu récepteur.

4.3. Sauvegarde des ressources

- La restitution dans le sol des éléments nutritifs et des substances organiques contenus dans les déchets contribue à sauvegarder les ressources naturelles. Il en va de même de la valorisation de l'énergie contenue dans les détritiques par la production et l'exploitation d'une source d'énergie renouvelable.
- Là où l'on aura pris conscience de l'intérêt de l'utilisation des déchets organiques et des substances nutritives qu'ils contiennent et des possibilités qui en découlent pour

l'enrichissement des sols, les résidus seront utilisés comme fertilisant de qualité et substance d'amendement des sols.

- L'emploi accru de fertilisants organiques peut contribuer à améliorer la fertilité de façon durable (aération, capacité de rétention en eau, édaphon, résistance aux maladies), à reconstituer l'humus et à faire obstacle à la dégradation générale des sols et à l'érosion.
- Là où des installations sont mises en place dans une ville ou à sa périphérie, cela peut également avoir un effet de sensibilisation aux problèmes de l'environnement, mettant en évidence les phénomènes d'interaction entre écologie, fertilité du sol, cycle de l'eau, qualité de l'air et climat.
- Si, tirant profit des substances fertilisantes ainsi obtenues, on se met à créer de nouveaux espaces verts, aménager un plus grand nombre de toitures-jardins ou transformer de nouvelles surfaces urbaines ou suburbaines en jardins, potagers, vergers ou autres cultures de denrées alimentaires, alors on peut encore escompter d'autres effets positifs non négligeables sur la qualité de l'air, l'hygiène publique, le bilan hydrique, l'alimentation et l'emploi.

5. POSSIBILITÉS DE TRANSFERT DES PROCESSUS DE VALORISATION AUX PAYS ÉMERGENTS ET AUX PAYS EN DÉVELOPPEMENT

Etant donné les différences dans la composition des déchets, l'absence de collecte sélective dans la plupart des pays ainsi que le climat plus chaud et humide, les technologies et concepts de gestion des déchets en usage en Europe ne sauraient être appliqués tels quels dans des pays de l'hémisphère Sud aux faibles capacités financières.

D'un autre côté, c'est justement dans les pays en développement que la proportion

de matières organiques contenue dans les déchets est particulièrement élevée, que les températures se prêtent bien à un processus de fermentation anaérobie et que la demande en énergie, fertilisants et substances d'amendement est la plupart du temps particulièrement importante.

Jusqu'à présent, dans les pays en développement, des processus anaérobies ayant dépassé le stade du prototype n'ont été mis en œuvre que pour le traitement des boues et eaux usées. La fermentation à l'échelle industrielle des déchets d'origine communale ou urbaine n'a pas encore été introduite dans des pays en développement.

En Allemagne comme dans les autres pays européens, ce qui est particulièrement coûteux dans la fermentation des déchets c'est le traitement et la sélection entièrement automatiques des matériaux. Dans les pays en développement, ces opérations pourraient très bien être organisées différemment. L'unité de traitement anaérobie subvient à ses propres besoins énergétiques et détient elle-même la clé de sa sécurité d'approvisionnement en combustible – dans bien des cas, un facteur limitant important. Mieux encore, elle peut générer un excédent commercialisable.

Aspects financiers importants des processus de fermentation anaérobie

- Les coûts engendrés par l'exploitation de l'installation peuvent être en partie compensés par des recettes provenant de la vente de l'énergie produite, de substrat fermenté ou de compost. Selon les tarifications, des excédents de revenus sont possibles.
- Selon le degré d'utilisation et de substitution de sources d'énergie fossiles et d'engrais chimiques, des économies de devises peuvent éventuellement être réalisées.
- En fonction des distances à parcourir, une installation de fermentation implantée à proximité d'une agglomération peut à long terme

s'avérer plus économique que le transport des déchets vers des décharges éloignées, d'autant plus qu'après fermentation le volume des déchets est réduit à environ 1/3 du volume initial.

On ne saurait établir un bilan qui soit valable dans tous les cas de figure, la structure des coûts et recettes dépendant en grande partie du lieu d'implantation. Les investissements nécessaires pourront varier énormément selon le niveau technique, la forme d'organisation, les aspects géographiques et d'aménagement urbain, les différents facteurs de coûts tels les surfaces utilisées, l'énergie disponible, le compost, les eaux usées, les transports, le degré de qualification de la main d'œuvre etc.

La mise en place d'un système de traitement anaérobie des déchets demande la mise en œuvre de mesures d'accompagnement en matière d'infrastructures et de formation, si bien que

dans tous les cas des moyens financiers doivent être engagés en vue d'adapter la technique de fermentation la mieux appropriée aux conditions locales.

6. RÉSUMÉ

Les processus de traitement anaérobie des déchets sont des technologies relativement récentes qui ne se sont pas encore établies dans les pays en développement. Du fait de la valorisation à la fois matérielle et énergétique, ils recèlent cependant d'importants potentiels économiques et écologiques pour l'avenir. Justement dans les pays en développement avec leurs ressources très limitées, leurs températures favorables et leur faible niveau de salaires, le traitement anaérobie des déchets pourrait très bien jouer à l'avenir un rôle important dans les circuits d'élimination des déchets.

7. VALEURS APPROXIMATIVES POUR LE TRAITEMENT ANAÉROBIE DES DÉCHETS

Quantité de déchets

Ordures ménagères	360–400 kg/E*a
Dont déchets organiques	120-150 kg/E*a
	30-40 kg oTS/E*a

Valeurs optimales pour la mise en œuvre

Teneur en matières sèches	10-15 %
dont dégradables	
par voie anaérobie	95 %
Faibles concentrations en substances toxiques	

Paramètres du processus de traitement des déchets organiques

Fermentation mésophile	35 °C
Fermentation thermophile	55 °C
Durée de fermentation	20 d
Production de compost	0,2 t/t Input
Aseptisation/Pasteurisation	à 65 – 70 °C pendant au moins 1 h

Energie

Consommation d'électricité	150-200 kWh _{el} /t oTS _{Input}
Production d'électricité	600-800 kWh _{el} /t oTS _{Input}
Excédent d'électricité	400-650 kWh_{el}/t oTS_{Input}
Besoins calorifiques	200-300 kWh _{therm} /t oTS _{Input}
Chaleur produite	1000-1200 kWh _{therm} /t oTS _{Input}
Excédent de chaleur	700-1000 kWh_{therm}/t oTS_{Input}

8. BIBLIOGRAPHIE

- CHRIST, O., FAULSTICH, M., (1997): The TherMes-Process – Two-stage thermophilic/mesophilic anaerobic treatment of suspended or-ganic waste; in: 1st International Conference, Narbonne, 28.-29. April 1997; Treatment of Solid Waste and Wastewater; Hrsg. Wilderer, Delgenes, Tartler, Graja; Pg. 265 - 271.
- KUNST, S. (1982): Untersuchungen zum anaeroben Abbau polymerer Kohlenhydrate zur Optimierung der Versäuerungsstufe bei anaeroben Abwasserreinigungsanlagen. In: Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover; Heft 54, Hannover.
- NIEDERMEIER, K., CHRIST, O., WILDERER, P. (1994): Biostabilisation Process of the model Kaufbeuren; 17th International Symposium on anaerobic Digestion; 23-27 January 1994, Cape Town, South Africa, S. 128 - 131.
- Statusbericht des GTZ-Sektorvorhabens „Förderung der Anaerobtechnologie zur Behandlung kommunaler und industrieller Abwässer und Abfälle“, Band 3: Abfallbehandlung.

9. INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH

gate Service d'Information / 
PO Box 5180
65726 Eschborn
Germany
Phone: +49 (0)6196 / 79-3093
Fax: +49 (0)6196 / 79-7352
Email: gate-id@gtz.de
Internet: <http://www.gtz.de/gate/gateid.afp>

ANS – Arbeitskreis zur Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen

Fachausschuß Vergärung
Ernst-Moritz-Arndt-Straße 2
40822 Mettmann
Germany
Tél : ++49-2104-958874
Fax : ++49-2104-958875

Naturgerechte Technologien, Bau und Wirtschaftsberatung (TBW) GmbH

Baumweg 10
60316 Frankfurt
Germany
Tél : ++49-69-943507-0
Fax : ++49-69-943507-11
e-mail : tbw@ipf.de

Knoten Weimar Bauhaus-Universität Weimar Lehrstuhl Abfallwirtschaft

Coudraystr. 7
99423 Weimar
Germany
Tél : ++49-3643-584644
Fax : ++49-3643-584643
e-mail : bionet@uni-weimar.de

Tagungsbände Kasseler Abfallforum

K. Wiemer, M. Kern (Hrsg.), M.I.C. Baeza-Verlag Witzenhausen
Kirchstraße 8
37213 Witzenhausen
Germany
Tél. : ++49-5542-72720
Fax : ++49-05542-4509

Adresses Internet :

- <http://www.gtz.de/anaerob>
- <http://www.tbw-frankfurt.com>