

Ministère de l'Agriculture et de la Pêche

FNDAE n° 24

Document technique



Performances des systèmes de traitement biologique aérobie des graisses

Graisses issues des dégraisseurs de stations d'épuration
traitant des effluents à dominante domestique

Jean-Pierre Canler



Groupement de Lyon
UR Qualité des eaux et prévention des pollutions
3 bis quai Chauveau – CP 220
69336 Lyon Cedex 09
Tél. 04 72 20 87 87

Ce document a été réalisé grâce :



- au concours financier du Fond national pour le développement des adductions d'eau (FNDAE), du ministère de l'Agriculture, et de la Pêche (Direction de l'espace rural et de la forêt) ;
- à la participation de D. Gorini et de son équipe du laboratoire de chimie des eaux du Cemagref, groupement de Lyon ;
- à l'aide de stagiaires dont C. Royer, étudiante en troisième année à l'ENGEES ;
- à l'équipe traitement des eaux résiduaires du Cemagref du groupement de Lyon, et plus particulièrement à J.M. Perret pour sa très importante contribution.

Crédit photographique : J-L. Beckert, Cemagref

- Couverture – Réacteur de traitement couvert, local de préparation et de stockage des nutriments
p. 7 et 13 – Dégraisseur, racleur entraînant les graisses flottées vers la goulotte de récupération
p. 17 et 29 – Réacteur de traitement des graisses non couvert, aéré et brassé en continu
p. 37 – Filasses conduisant au bouchage des organes de pompage
p. 45 – Réacteur de traitement couvert, locaux des surpresseurs et de préparation des nutriments

© Ministère de l'Agriculture et de la pêche – ISBN 2-11-092851-4 ; © Cemagref 2001 – Cemagref Éditions – ISBN 2-85362-556-7 – *Performances des systèmes de traitement biologique aérobie des graisses – Graisses issues des dégraisseurs de stations d'épuration traitant des effluents à dominante domestique*. Jean-Pierre Canler (Cemagref)– Document technique FNDAE n° 24, 2001.

1^{re} édition coordonnée par le Cemagref : conception et création graphique : Julienne Baudel ; infographie : Françoise Peyriguer. Dépôt légal : 2^e trimestre 2001 – Impression : Jouve, 18 rue Saint-Denis, BP 2734, 75027 Paris Cedex 01. Diffusion : Publi-Trans, ZI Marinière 2, Rue Désir Prévost, 91080 Bondoufle, Tél. 01 69 10 85 85, Fax. 01 69 10 85 84. Diffusion aux libraires : Technique et documentation Lavoisier, 14, rue de Provigny, 94236 Cachan Cedex, tél. 01 47 40 67 00. Prix : 12,96 € (85 FF)



CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR LES LIPIDES	7
DÉFINITIONS	7
PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES LIPIDES	8
GISEMENT GRAISSEUX EN FRANCE ET SES NUISANCES	9
CHAPITRE II : CARACTÉRISATION DES GRAISSES SUR STATIONS D'ÉPURATION. RECOMMANDATIONS SUR L'ÉCHANTILLONNAGE ET L'ANALYSE	13
DÉGRAISSEUR	13
RECOMMANDATIONS CONCERNANT LA CARACTÉRISATION DU DÉCHET GRAISSEUX	13
CHAPITRE III : LE TRAITEMENT DES GRAISSES	17
RECENSEMENT DES PRINCIPALES TECHNIQUES DE TRAITEMENT DES GRAISSES	17
LE TRAITEMENT BIOLOGIQUE AÉROBIE DES GRAISSES	21
CHAPITRE IV : RÉSULTATS	29
RAPPELS	29
CARACTÉRISATION DU DÉCHET GRAISSEUX	31
CARACTÉRISATION DE LA BIOMASSE PRÉSENTE DANS CES RÉACTEURS	32

PERFORMANCES OBTENUES	33
AUTRES RÉSULTATS	34
CHAPITRE V : RECOMMANDATIONS TECHNIQUES	37
DIMENSIONNEMENT DES INSTALLATIONS	37
ÉQUIPEMENTS SPÉCIFIQUES	41
EXPLOITATION DE CES RÉACTEURS	43
CHAPITRE VI : CONCLUSION	45
Liste bibliographique	47
Liste des annexes	50



Introduction

Le pré-traitement des eaux usées domestiques génère différents sous-produits dont les déchets gras.

Dans la majorité des cas, le principal débouché actuel retenu en France est leur mise en décharge. Mais, compte tenu de la nouvelle réglementation applicable à partir de 2002, ces résidus considérés comme non ultimes en raison de leur traitabilité, de leur faible siccité et de leur taux élevé en matière organique, ne seront plus acceptés dans les centres d'enfouissement techniques.

Plusieurs filières de traitement ont été mises au point et/ou sont en cours de développement. Le traitement biologique aérobie des graisses est le procédé le plus prometteur. Cette filière de traitement est relativement récente et donc encore peu connue des maîtres d'œuvre et d'ouvrage.

Le présent document est principalement axé sur le traitement biologique aérobie des graisses. Il retrace d'abord les caractéristiques qualitatives et quantitatives des déchets gras issus des dégraisseurs de stations d'épuration traitant des effluents à dominante domestique, ainsi que les nuisances et difficultés qu'ils peuvent engendrer dans la gestion des filières de traitement des eaux usées. Puis il se concentre sur le traitement biologique aérobie de ces produits, en faisant plus particulièrement le point sur les paramètres de dimensionnement et de fonctionnement de ce procédé, ses performances, ses limites, tout en apportant des recommandations afin d'en faciliter l'exploitation courante.





Définitions

LES LIPIDES

Les lipides sont des esters composés d'alcool et d'acides gras à plus ou moins longue chaîne qui peuvent dans certains cas se combiner avec d'autres éléments. La réaction d'estérification est la suivante :

alcool + acides gras → ester + eau

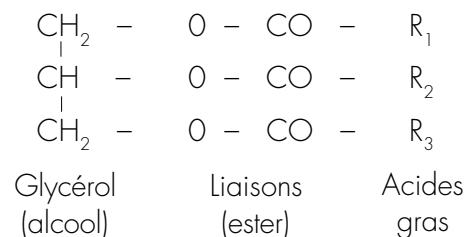
L'hydrolyse d'un lipide correspond à la réaction inverse. Elle peut être biologique par l'intermédiaire d'enzymes ou chimique (saponification) par ajout d'une base.

On parlera :

- de lipides simples : esters d'acides gras et de divers alcools,
- de lipides complexes : di- ou triesters auxquels s'ajoutent divers groupements phosphorés.

À l'entrée des stations d'épuration, les lipides sont essentiellement d'origine animale ou végétale. On les nomme aussi matière grasse ou graisses, et sont principalement composés de triglycérides – 98 % de la masse – (Entressangles,

1987). Par simplification, la formule chimique d'un triglycéride peut s'écrire :



Le glycérol possède trois fonctions alcools, on parle de :

- mono-glycéride lorsqu'une fonction alcool est estérifiée,
- diglycéride lorsque deux fonctions alcools sont estérifiées,
- triglycéride lorsque les trois fonctions alcools sont estérifiées.

On parlera également de :

- triglycérides simples lorsque les acides gras sont identiques ($R_1 = R_2 = R_3$), et de
- triglycérides mixtes lorsque les acides gras sont différents : cas des corps gras alimentaires.

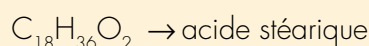
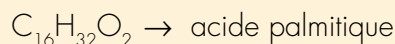
LES ACIDES GRAS

Tous les acides gras sont constitués d'une chaîne hydrocarbonée comprenant un groupement méthyle (CH_3) à l'une de ses extrémités et un groupement carboxyle ($-\text{COOH}$) à l'autre extrémité (Entressangles, 1987).

Les acides gras se différencient entre eux par :

- *la longueur de la chaîne carbonée*
 - de 6 à 10 atomes de carbone : acides gras à courte ou moyenne chaîne appelés acides butyreux ;
 - de 12 à 22 atomes de carbone : acides gras à chaîne longue, ce sont les acides gras proprement dits ;
 - plus de 22 atomes de carbone : acides gras à très longue chaîne appelés acides cireux.
- *le degré de saturation de cette chaîne carbonée*, qui désigne la présence ou l'absence de doubles liaisons. On parlera :
 - d'acides gras saturés lorsqu'il y a absence de double liaison dans la chaîne hydrocarbonée. La chaîne aliphatique est saturée et sa formule est de type ($\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$) ;

À titre d'exemple,



– d'acides gras insaturés lorsqu'il y a présence d'une double liaison (mono-insaturés) ou de plusieurs (poly-insaturés).

La nomenclature retenue pour ces acides est la suivante :

$\text{C}_{x:y}$ avec x : le nombre d'atomes de carbone dans la molécule
 y (insaturés) : le nombre de doubles liaisons.

À titre d'exemple :

➤ acide oléique $\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$: acide gras mono-insaturé (C18 : 1) : une double liaison

➤ acide linoléique $\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_2$: acide gras poly-insaturé (C18 : 2) : deux doubles liaisons

Dans notre domaine d'étude, les principaux acides gras recensés sont généralement composés d'un nombre pair d'atomes de carbone, compris entre 12 et 18. On parlera d'un produit gras à partir de six atomes de carbone. À l'entrée d'une station d'épuration, le déchet graisseux est composé d'acides gras libres (hydrolysés) et d'acides gras estérifiés.

Ainsi, un déchet graisseux moyen obtenu après analyses de nombreux échantillons aux origines diverses (bac à graisses, entrée de station d'épuration, réseau) révèle une très grande hétérogénéité dans sa composition.

On observe de nombreux acides gras différents :

- les C18 mono-insaturés représentant 40 % des acides gras totaux ;
- les C18 poly-insaturés représentant 15 % des acides gras totaux : acide linoléique ;
- et les C16 saturés représentant 25 % des acides gras totaux : acide palmitique.

Un indice d'acidité faible, inférieur à 25 %, est révélateur d'un degré d'hydrolyse peu important.

Principales caractéristiques physico-chimiques des lipides

La longueur de leur chaîne carbonée, le degré de saturation de cette chaîne et l'isomérisation* vont avoir une influence importante sur les propriétés des acides gras, et par conséquent des lipides. En effet :

➤ **l'insolubilité** dans l'eau des acides gras saturés augmente avec le nombre d'atomes de carbone constituant la molécule et le caractère « gras » n'apparaît qu'à partir de six à huit atomes de carbone (Beture, 1996).

➤ **la biodégradabilité** des corps gras est facilitée lorsqu'ils comportent des acides gras insaturés (Beture, 1996). À l'opposé, les acides gras

* position des chaînes carbonées par rapport aux doubles liaisons

saturés présentent une plus grande stabilité et leur assimilation est plus difficile.

➤ **le point de fusion** augmente avec la longueur de la chaîne carbonée, diminue avec le nombre de doubles liaisons, lui-même étant dépendant de l'isomérisation. Les températures de solidification des corps gras alimentaires varient en fonction de leur composition en acides gras (Entressangles, 1987) : cf. annexe 1-2.

Les acides gras saturés sont le plus souvent solides à la température ordinaire. En revanche, les acides gras insaturés sont liquides à ces mêmes températures, c'est le cas des huiles.

Les lipides sont généralement présents dans la phase aqueuse sous une **forme dispersée**. Les gouttelettes d'huile sont entourées de matières facilitant l'émulsion : protéines, phospholipides, détergents, amidon et ses dérivés. La matière grasse émulsionnée présente une surface de contact avec l'eau plus élevée que la matière grasse non émulsionnée. Le substrat est donc plus accessible aux micro-organismes. Cette émulsion facilite le transport de la matière grasse car elle évite les dépôts, mais elle diminue l'efficacité des séparateurs (Thonart, 1997).

➤ Enfin, **la densité** des lipides est inférieure à celle de l'eau.

À titre indicatif, voici les masses volumiques de quelques corps gras : 910 kg/m³ pour le beurre, 917 kg/m³ pour l'huile d'olive, 922 kg/m³ pour l'huile de tournesol.

Gisement graisseux en France et ses nuisances

DÉFINITION DU GISEMENT GRAISSEUX

On désigne par « déchets graisseux » les résidus issus principalement de :

➤ l'étape de dégraissage-deshuilage des stations d'épuration,

➤ la collecte des bacs à graisses de restaurants,

➤ les différentes étapes de prétraitements ou de traitements par les industriels, essentiellement les industries agro-alimentaires,

➤ les vidanges des chapeaux graisseux provenant de l'assainissement autonome (Maillet, 1997).

Ces déchets graisseux sont communément appelés « graisses ». Ils sont en fait très hétérogènes et constitués par :

➤ des matières organiques biodégradables (principalement des corps gras),

➤ des matières non biodégradables (débris divers),

➤ des matières dissoutes,

➤ de l'eau,

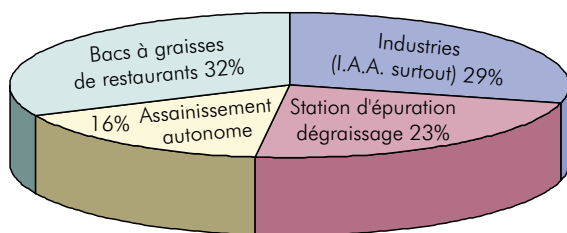
➤ d'autres polluants (hydrocarbures, métaux lourds...), généralement en faible quantité (Maillet, 1997).

Plus particulièrement, les graisses récupérées au niveau des dégraisseurs situés en tête des stations d'épuration proviennent des eaux résiduaires (ménagères et vannes) et des matières de vidange réceptionnées (industries, restaurants, habitations disposant d'assainissement individuel).

QUANTITÉS

On estime entre 300 000 et 450 000 m³ le volume de déchets graisseux collectés chaque année en France. Ce gisement est en augmentation, ce qui s'explique en partie par les progrès de l'assainissement : taux de raccordement, efficacité des ouvrages, meilleure gestion des ouvrages (collectifs et individuels), meilleur entretien des réseaux (ANRED, 1989 : M. de Lauzanne).

Voici l'évaluation des principaux gisements de graisses en France :



d'après I. Maillat (1997)

D'après une étude de l'agence de l'Eau Loire Bretagne (Beture, 1996), le gisement des graisses industrielles serait supérieur à 60 000 tonnes/an. Il faut noter qu'une partie de ces graisses est récupérée au niveau des prétraitements des industries avant rejet au réseau communal.

Pour ce qui est des graisses en provenance de la restauration (issues des bacs à graisses de restaurants), on évalue le gisement à environ 230 000 tonnes/an, avec une incertitude importante de l'ordre de 90 000 tonnes/an étant donné le manque de statistiques sur le sujet et les difficultés de prélèvement et d'analyse. Ces déchets devraient être collectés mais certains restaurateurs les rejettent dans le réseau (avec ou sans ajout de bio-additifs), et les bacs à graisses collectés le sont souvent quand leur capacité est largement dépassée (l'excédent ayant déjà été déversé dans le réseau).

Enfin, on estime le ratio moyen de graisses « domestiques » rejetées par habitant et par jour de 16 à 18 g de MEH, soit 7,3 kg de lipides par an et par équivalent-habitant (Bridoux, 1992).

NUISANCES ENGENDRÉES PAR LES GRAISSES

Les graisses présentes dans l'effluent à traiter posent de nombreux problèmes dans le domaine de l'épuration.

➤ La solidification de certaines graisses à température ambiante associée à leur caractère insoluble peut entraîner le colmatage des canalisations (du réseau d'assainissement ou de la station d'épuration) et des supports de culture dans les stations d'épuration à cultures fixées. Leur présence augmente le plus souvent les con-

traintes d'exploitation en raison de l'encrassement fréquent des poires de niveau provoquant des dysfonctionnements et de la formation de chapeaux graisseux dans les différents postes de relèvement.

➤ Elles sont responsables de nuisances olfactives dans les réseaux et sur station en raison de leur caractère fermentescible important.

➤ Les graisses constituent un substrat privilégié pour la croissance de certains organismes filamentueux hydrophobes [GIS Mousses, 1993] comme *Microthrix Parvicella* qui affecte la décantabilité de la boue et *Nocardia amarae* qui est à l'origine de mousses brunes visqueuses et stables susceptibles de créer des problèmes d'exploitation et des rejets non conformes.

➤ Dans les bassins d'aération, elles réduisent les transferts d'oxygène à deux niveaux différents : au niveau du floc, par adsorption sur celui-ci (création d'un film lipidique qui réduit le transfert d'oxygène dissous entre l'eau et le floc) et au niveau de la surface du bassin par la constitution d'une pellicule entre l'air et l'eau.

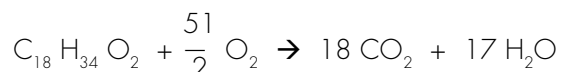
Des mesures ont montré que les huiles réduisaient le coefficient de transfert de l'aération. Un ajout de 10 mg/l de lipides dans un bassin d'aération en présence de boues abaisse la dissolution de l'oxygène de l'ordre de 10 %. Des travaux ont montré que cette diminution du coefficient de transfert intervient aussi bien en eau claire qu'en boue.

Pour les mesures en boue, la diminution du transfert est fonction de la concentration en lipides dans le milieu. Cette relation n'a pas été observée en eau claire.

➤ Lorsque les graisses sont présentes en trop fortes concentrations dans les boues, elles affectent les performances de la déshydratation. Elles pénalisent également la phase d'épaississement par leur évolution rapide en milieu anaérobie (fermentation induisant des remontées de boues).

➤ Le déchet graisseux représente une grande partie de la pollution organique des eaux brutes à l'entrée de la station d'épuration, estimée à environ 35 % de la DCO totale à traiter.

➤ Enfin, la réaction stœchiométrique théorique des besoins en oxygène (DCO) pour oxyder un composé graisseux (C18) peut être calculée.



À titre d'exemple, l'oxydation d'un gramme d'acide oléique (C₁₈H₃₄O₂) d'un poids moléculaire de 282 grammes nécessite la présence de 2,89 grammes d'oxygène (816g/282g) pour être totalement oxydé, ce qui correspond à une DCO de 2,89 grammes.

Les valeurs expérimentales obtenues au Cemagref sur la matière grasse extraite au chloroforme et au tétrachlorure de carbone à partir d'une centaine d'échantillons d'effluents domestiques et agro-alimentaires donnent la valeur moyenne suivante :

1 mg de lipides est équivalent
à 2,3 mg de DCO.

Plus récemment, la difficulté de prélèvement pour l'analyse du déchet graisseux a nécessité l'hydrolyse de l'échantillon par saponification, entraînant ainsi un produit beaucoup plus soluble pour les prises d'échantillons.

Cette saponification facilite l'oxydation et, dans ce cas, le mg de lipides équivaut à 2,4 – 2,5 mg de DCO.



Dégraisseur

Compte tenu des principales nuisances évoquées précédemment, le dégraissage des effluents en tête de stations d'épuration, et plus particulièrement le piégeage des graisses dites particulières voire flottables, est indispensable. Les performances des dégraisseurs sont très variables et dépendent de nombreux facteurs, comme la concentration d'entrée, le type de graisse, le degré d'hydrolyse des acides gras, la conception de l'ouvrage...

Recommandations concernant la caractérisation du déchet graisseux

L'ÉCHANTILLONNAGE ET LE STOCKAGE

Le prélèvement des produits graisseux pose d'importantes difficultés de représentativité compte tenu de la nature même du produit (Duchène,

1980). Une attention toute particulière devra donc être apportée au prélèvement.

L'automatisation du prélèvement est rarement envisageable, voire très fortement déconseillée. La charge journalière est souvent approchée par le stockage du déchet graisseux dans une bache appropriée où une agitation intense devra être envisagée lors du prélèvement.

En l'absence de stockage, l'échantillon ponctuel n'est pas représentatif et ne peut être retenu en raison d'une très forte variabilité de la nature et de la concentration du produit au cours de la journée. Dans ce cas, le stockage des graisses raclessées dans la goulotte de récupération, renouvelé plusieurs fois au cours de la journée, peut être envisagé avec la mise en place d'une agitation artificielle lors des prélèvements.

Le flux de graisses à traiter pourra aussi être estimé par la production de boues du réacteur biologique des graisses.

Avant toute analyse, la préparation de l'échantillon brut est indispensable :

– prélèvement en plusieurs fois (entre cinq et dix) accompagné d'une agitation poussée pour

la confection d'un échantillon, puis stockage dans un flacon en verre ;

– broyage de l'échantillon à l'aide d'un broyeur de laboratoire pendant cinq à dix minutes ;

– acidification à pH 2 pour stopper toute activité biologique, et conservation à 4 °C.

LES ASPECTS ANALYTIQUES

Afin de caractériser le déchet gras, l'analyse de la DBO_5 n'est pas envisageable et sera approchée par le paramètre DCO. En effet, le paramètre DBO_5 n'est pas adapté à ce produit particulière, à fort caractère hydrophobe et composé de molécules complexes entièrement biodégradables mais pour des temps de séjour importants supérieurs à cinq jours.

ANALYSE DE LA DCO

De nombreuses précautions doivent être prises (cf. annexe II – 2).

– les échantillons gras sont très hétérogènes et la fraction lipidique est dans la majorité des cas sous forme particulière et très hydrophobe. La solubilité et l'homogénéité du produit peuvent être améliorées par une réaction de saponification en formant un sel d'acide gras (savon) beaucoup plus soluble. Cette saponification est effectuée par ajout de soude jusqu'à un pH de 13 ;

– le prélèvement se fera par pesée, de l'ordre de 40 à 50 g de produit ;

– des dilutions avant analyse seront effectuées suivant la concentration du produit de départ. Les prises d'essais pour les différentes dilutions, d'un volume supérieur à 50 ml, seront réalisées à la fiole jaugée.

Remarques : lors des réactions de saponification, l'hydrolyse est totale et aboutit à la formation de molécules plus petites. Sur un même échantillon, les valeurs de DCO obtenues sont toujours plus élevées après une saponification,

ce qui révèle une amélioration de la capacité d'oxydation.

ANALYSE DES LIPIDES

Méthodes quantitatives

Plusieurs méthodes sont actuellement utilisées. Elles se différencient par le solvant et par la technique de mesure utilisée. Les plus courantes sont :

– une mesure d'absorbance de la solution extraite par les infrarouges ;

– ou une mesure gravimétrique (donc une pesée) avant et après évaporation du solvant.

On observe des rendements d'extraction différents suivant les solvants retenus. De nombreux travaux ont révélé que les rendements d'extraction les plus importants sont obtenus avec le chloroforme (cf. annexe II – 4).

La classification des résultats moyens, par rapport au tétrachlorure de carbone (CCl_4), est la suivante :

– chloroforme (SEC) : 10 % en plus de lipides ;
– hexane (MEH) : 10 % en moins de lipides.

La méthode retenue par le Cemagref, basée sur l'utilisation du CCl_4 , est motivée par les trois raisons suivantes.

● Le dosage prend en compte les acides gras volatils. Avec les autres techniques, le risque de pertes par évaporation est important.

● La limite de détection est plus faible (0,2 mg/l). Cette méthode est donc applicable pour des échantillons faiblement concentrés. Cette précision est obtenue par la lecture au spectrophotomètre à infrarouge.

● Les acides gras à petites chaînes (nombre d'atomes de carbone ≤ 8) sont dosés. Ce nombre d'atomes de carbone est la référence pour décrire la caractéristique grasseuse du produit (cf. annexe II – 3).

Méthodes qualitatives

La méthode la plus couramment utilisée est la chromatographie. Elle permet de séparer et de doser séparément les acides gras ainsi que les esters d'acides gras. Ce point ne sera pas abordé dans le document. L'analyse qualitative permet de recenser les types d'acides gras caractérisant l'échantillon et d'apprécier la part de lipides hydrolysés avant le traitement aérobie des graisses.

ANALYSE DES MES

La matière sèche est obtenue par pesée après séchage à 105 °C durant 24 heures. Pendant ce séchage, certains composés peuvent s'évaporer en partie, en particulier certaines graisses plus volatiles. Des essais en laboratoire ont permis d'apprécier ces pertes pouvant être supérieures à 10 % pour des graisses issues d'industries.

Ce point est important pour deux raisons :
 – des précautions doivent être prises sur l'interprétation du ratio lipides/MVS (on rappelle qu'1 g de lipides apporte 1 g de MVS) ;

– le dosage des graisses à partir des matières sèches est à proscrire.

RATIO DCO/LIPIDES

D'après la réaction stoechiométrique théorique d'oxydation des lipides (C18), 1 g de lipides apporte 2,89 g de DCO. Or, les ratios issus de la caractérisation réelle des déchets graisseux obtenus sur plusieurs sites sont différents et tendent vers une valeur se situant entre 2,3 et 2,5.

Ces différences peuvent s'expliquer :

➤ par les rendements d'extraction différents en fonction des solvants utilisés.

À titre d'exemple, pour un même échantillon graisseux analysé, les principaux résultats obtenus sont les suivants :

DCO		23 g/l
Lipides	chloroforme	10 g/l
	CCl ₄	9 g/l
	hexane	8 g/l

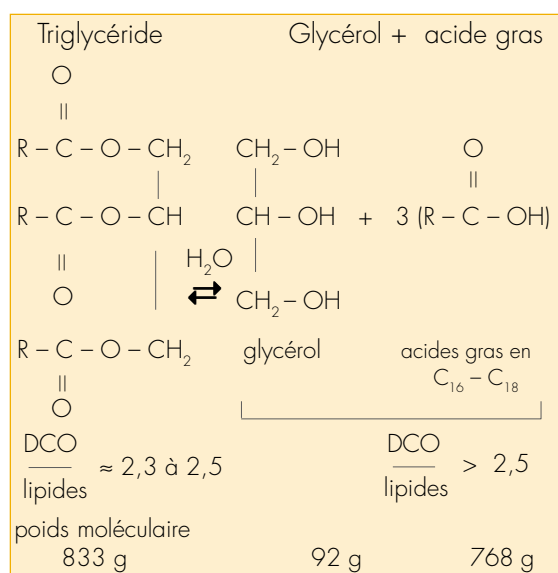
Les variations du ratio DCO/lipides selon la méthode d'extraction sont ainsi :

avec le chloroforme	≈	2,30
avec le CCl ₄	≈	2,56
avec l'hexane	≈	2,88

➤ et par la difficulté d'oxydation complète de la molécule lors de l'analyse de la DCO.

Dans tous les cas de figures, le ratio DCO/lipides devra être supérieur à 2,3. Des valeurs plus faibles sont des indicateurs d'erreurs analytiques importantes.

Lorsque l'hydrolyse s'amorce ou est bien établie, le ratio DCO/lipides peut légèrement augmenter. Le mécanisme de l'hydrolyse peut être schématisé comme ci-dessous :



Après hydrolyse, la quantité massique de lipides obtenue est plus faible en raison de la perte de la molécule de glycérol, par contre la DCO est équivalente entre le triglycéride et le produit de l'hydrolyse, ce qui aboutit à l'augmentation du ratio DCO/lipides.

Le ratio DCO/lipides n'est pas suffisamment précis pour apporter des indications sur le degré d'hydrolyse (âge du déchet graisseux). En revanche, le degré d'hydrolyse peut s'apprécier par la valeur de pH (forte production d'acide gras) et par la mesure de l'indice d'acidité (voir Norme française « NF ISO 660 » d'août 1996) ou par une analyse qualitative.



Le recensement des principales techniques de traitement des graisses

Les déchets graisseux sont des produits très fermentescibles pouvant générer une pollution importante du milieu naturel et des nuisances olfactives. Les installations de traitement de tels déchets sont des installations classées, selon le décret du 21 septembre 1997 de la réglementation destinée à la protection de l'environnement. Différentes solutions existent pour traiter ou éliminer les déchets graisseux collectés.

STOCKAGE

La mise en décharge « contrôlée » de classe II pour les déchets assimilés à des ordures ménagères n'est qu'une solution temporaire. En effet, la loi du 13/07/1992 (arrêté d'application du 1/03/1993) définit la notion de déchets ultimes (comme résidus non recyclables, non valorisables ou non transformables par un procédé existant et à un coût raisonnable) et précise que seuls les déchets ultimes seront admis en décharge à partir du 1^{er} juillet 2002. Des



solutions alternatives doivent être rapidement adoptées.

Jusqu'à ce jour, cette solution était très répandue mais la tendance des responsables des Centres d'enfouissement technique (CET) est de refuser de plus en plus leur admission. L'administration essaye donc de limiter le nombre de ces décharges, de contrôler strictement leur gestion en raison de la saturation des sites existants et de l'application de la nouvelle réglementation. La mise en décharge était déjà soumise aux dispositions de la circulaire du 11 mars 1987 interdisant l'admission de déchets fermentescibles dont la teneur en eau dépasse 70 %.

RECYCLAGE

LIPOCHIMIE

Certaines graisses peuvent être réutilisées en lipochimie mais elles ne concernent pas les déchets graisseux issus de stations d'épuration en raison des exigences de qualité demandées.

ALIMENTATION POUR ANIMAUX

La réutilisation des graisses dans la fabrication d'aliments pour le bétail ne concerne pas non

plus les déchets gras issus des stations d'épuration. En effet, tout déchet gras mis en contact avec les matières fécales, collecté de façon non sélective, ou possédant un indice d'acidité supérieur à 10 %, ne peut prétendre à ce type de traitement.

ÉPANDAGE

L'épandage est une solution largement utilisée pour les boues de stations puisqu'il concerne 50 % des boues produites, mais également pour les déchets gras puisqu'il est utilisé pour au moins 28 % d'entre eux.

Du point de vue réglementaire, l'épandage est soumis au Règlement sanitaire départemental (RSD). Mais les corps gras n'y sont pas nommément cités bien qu'ils fassent partie des déchets pour lesquels le RSD précise les bonnes pratiques permettant d'éviter la pollution des eaux (distances du point sensible et périodes d'épandage notamment).

Du point de vue de la fertilisation, le déchet gras est peu intéressant en raison de sa teneur très faible en azote et phosphore. De plus, lors de l'épandage, les graisses peuvent entraîner un certain nombre d'inconvénients :

- asphyxie des sols (Beture, 1996) ;
- mauvaise biodégradabilité des graisses sur les sols ;
- et une inhibition de la germination par les acides gras (Hélaïne, 1995).

Un épandage massif de graisses seules n'est donc pas envisageable, et les quantités préconisées, de l'ordre de 1 à 3 tonnes de graisses/ha/an, semblent être raisonnables. Un apport de chaux peut, par ailleurs, être nécessaire pour neutraliser les odeurs (Beture, 1996).

À titre indicatif, le coût de l'épandage de graisses mélangées à des boues (chaulage et stockage inclus) est compris entre 150 et 180 FHT/t de mélange (Beture, 1996).

CONCENTRATION (PRÉ-TRAITEMENT)

FLOTTATION (OU AÉROFILTRATION)

Ce procédé permet de limiter les volumes à transporter grâce à l'obtention d'une siccité supérieure à 30 %.

COAGULATION-NEUTRALISATION-FLOCCULATION

C'est un procédé physique basé sur une coagulation au FeCl_3 suivie d'une neutralisation par du lait de chaux et d'une floculation par ajout d'un flocculant organique. Les boues sont ensuite épaissies et déshydratées. Ce procédé ne traite pas la matière organique, il ne fait que la concentrer et le déchet obtenu ne pourra plus être mis en décharge après 2002. L'effluent issu des phases d'épaississement est encore très chargé et nécessite un traitement avant rejet dans le milieu récepteur (Hélaïne, 1995).

PROCÉDÉ LIPOVAL

Ce procédé a été développé par le CREED (Centre de recherche et d'essai pour l'environnement et le déchet) et la société ECOPUR.

Il comporte deux étapes :

- une séparation de l'effluent en trois phases (solide, aqueuse et grasse), réalisée par chauffage et coagulation au moyen d'agents naturels ;
- une valorisation de la fraction grasse, en qualité de bio-fioul ou de matière première de seconde génération, pour l'alimentation animale ou la lipochimie. La qualité et la destination finale du concentré gras dépendent évidemment de l'origine du déchet gras entrant. Le concentré gras obtenu a un pouvoir calorifique d'environ 80 % de celui du fuel domestique (qui est de 42 000 kJ/kg brut) et sa teneur en soufre est 5 à 10 fois inférieure à ce dernier.

Les caractéristiques des différentes phases sont globalement constantes avec :

- une phase solide très organique, avec un PCI inférieur à celui des ordures ménagères ;

– une phase aqueuse très importante en volume qui nécessite un pré-traitement avant d'être valorisée ;

– une phase grasse (solide à température ambiante) qui sera hygiénisée par chauffage à 90 °C avant d'être valorisée.

DÉGRADATION OU ÉLIMINATION

INCINÉRATION

Elle peut être réalisée spécifiquement ou conjointement avec des ordures ménagères ou des boues de stations d'épuration. Les déchets graisseux doivent être préalablement déshydratés en raison de leur forte teneur en eau.

Les déchets graisseux déshydratés peuvent provoquer des coups de feu dans les fours, inconvénient majeur pour la gestion des boues. L'incinération des graisses seules nécessite une siccité de l'ordre de 20 % et représente un PCI important (entre 33 500 à 45 000 kJ/kg de matière grasse).

Ce procédé entraîne le traitement des fumées, ce qui augmente le coût de traitement.

TRAITEMENTS ET CONDITIONNEMENTS CHIMIQUES

♦ Conditionnement chimique par saponification (Kallel, 1994)

La saponification est une hydrolyse en milieu alcalin. Les acides gras apparaissent alors sous forme de savons (sels d'acides) et non d'acides. Ce traitement permet de liquéfier et d'homogénéiser le produit gras car ces savons sont beaucoup plus solubles dans l'eau que les acides gras. La quantité moyenne de soude utile pour la réaction de saponification est d'environ 40 g de soude par kg de graisse sèche (matière sèche) mais elle dépend bien sûr de l'état d'hydrolyse du produit graisseux à traiter.

Une fois les graisses saponifiées par ajout de soude, le produit peut subir un traitement biologique aérobie (cf. page 21). Dans ce cas, les

temps de séjour dans le réacteur de traitement des graisses peuvent être diminués. Cette saponification induit dans des milieux brassés, et surtout aérés, un moussage excessif pouvant entraîner d'énormes contraintes d'exploitation. Ce moussage peut être limité par l'utilisation de chaux entraînant un précipité de sels d'acides gras.

♦ Procédé WPO (Bonnard, 1992)

C'est un procédé de traitement des effluents industriels aqueux chargés en matières organiques, pouvant être toxiques et/ou non biodégradables. Il met en œuvre du peroxyde d'hydrogène à haute température en présence d'un catalyseur ferreux, à pH légèrement acide.

Le degré d'oxydation obtenu dépend de la dose de peroxyde d'hydrogène appliquée. Pour les graisses de stations d'épuration le plus souvent non accompagnées de toxiques, cette technique au coût élevé présente peu d'intérêt car le traitement ultime ne doit pas systématiquement être recherché.

COMPOSTAGE ET LOMBRICOMPOSTAGE

♦ Compostage

Les déchets graisseux sont mélangés à un support (végétaux ou sciures par exemple) et moyennant un apport de nutriments (N et P) on obtient au bout de quelques mois, après une phase de maturation, un produit stable et non odorant pouvant être utilisé en compost. Ce sont généralement les techniques en andains ou en tas qui sont utilisées.

Le compostage permet une diminution de 40 % du volume brut initial, une diminution de l'humidité de 30 % et l'hygiénisation du produit final par la chaleur. On obtient un résidu riche en matières humifiables, en sels minéraux et en micro-organismes.

Sa facilité de mise en œuvre et l'intérêt économique qu'ils présentent sont intéressants mais il est impératif de procéder au préalable à une étude

de marché local pour trouver des débouchés. Une grande surface imperméable et bétonnée, avec récupération des jus, est nécessaire. Il faut aussi remarquer que ce traitement entraîne des nuisances olfactives et les quantités de graisses mises en jeu sont assez faibles par rapport aux autres matières utilisées. Ce procédé est sensible aux précipitations et le temps requis à l'obtention d'un produit de qualité est assez long (Beture, 1996). En effet, lors d'une expérience de co-compostage déchets verts/boues de stations d'épuration/déchets gras, seulement 50 % des matières grasses ont été dégradées après deux mois de compostage actif et trois mois de maturation.

◆ Lombricompostage (ou vermiculture)

Il s'agit de développer des vers rouges *Eisina Fétida andrei* sur un support constitué d'un mélange graisses/boues de stations d'épuration ou paille ou fumier. L'obtention d'un produit stable et non odorant est plus rapide que pour un compostage classique. Le lombricompostage est peu développé en France. Son intérêt économique par rapport au compostage traditionnel est faible pour un gisement important. Il s'agit surtout d'un traitement d'appoint simple pour les structures à faible production (en France, les deux seules grosses structures ayant existé sont situées à Toulouse et à Vannes). De plus, la qualité et le comportement du produit obtenu vis-à-vis du sol et de la plante sont encore mal connus et le taux de dégradation apparent est faible.

TRAITEMENT BIOLOGIQUE

◆ Traitement biologique anaérobie

Ce traitement comporte trois phases : hydrolyse et solubilisation puis action des bactéries dans l'acétogénèse et la méthanogénèse. Les charges volumiques appliquées se situent entre 5 et 10 kg de DCO/m³ de réacteur.j et les conditions optimales sont un pH entre 6 et 8, une température entre 30 et 40 °C et un potentiel redox inférieur à - 350 mV.

Il permet de bonnes performances mais il est difficile à contrôler du fait du faible taux de renouvel-

lement de la population bactérienne. En exploitation, on peut redouter la formation d'une croûte surnageante et l'acidification du milieu (ANRED, 1989, M. Defaye).

Les rendements d'élimination varient de 50 à 60 % pour les MES et la DCO totale. Les volumes de gaz produits sont de l'ordre de 0,5 m³ de gaz/kg de DCO éliminé dont 60 à 65 % de méthane et 30 à 35 % de CO₂ (AESN, 1994).

◆ Les bioadditifs

Ces produits sont très nombreux sur le marché. Ils se présentent sous forme liquide ou en poudres lyophilisées et contiennent des bactéries lipolytiques sélectionnées (essentiellement de type aérobie facultatif) en grande quantité auxquelles peuvent être associées d'autres substances (enzymes, nutriments...). Les produits en poudre sont les plus répandus actuellement. Ils nécessitent une réactivation avant ensemencement du milieu à traiter alors que les produits liquides sont confrontés à un problème de conservation (épuisement de la solution dans le temps).

Différents créneaux d'utilisation existent en fonction du point d'injection :

- injection dans les réacteurs de traitement biologique des graisses, avec une injection continue ou uniquement pour l'ensemencement ;
- injection dans le dégraisseur pour l'hydrolyse et éventuellement l'assimilation ;
- injection dans le bassin d'aération ou au sein du réseau d'assainissement.

Les bactéries utilisées ne sont pas stables dans le temps et ont des difficultés d'acclimatation dans les milieux. Il est nécessaire d'ensemencer régulièrement le réacteur, ce qui augmente le coût d'exploitation (de 80 à 600 F HT/m³ de graisses à traiter).

◆ Traitement biologique aérobie

Cette technique présente l'avantage d'être facile à mettre en œuvre. Elle peut être associée à un conditionnement chimique (saponification) ou à

l'utilisation de bioadditifs. La présente étude concerne uniquement le traitement biologique aérobie sans apport de bioadditifs.

Le traitement biologique aérobie des graisses

L'ensemble de ce paragraphe reprend les données acquises et connues sur ce procédé au début des expérimentations.

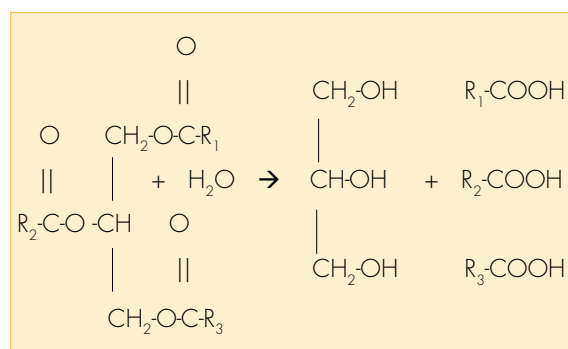
PRINCIPE

LE MÉCANISME DE TRAITEMENT

Les graisses vont subir d'abord une hydrolyse biologique grâce aux exo-enzymes appelées lipases (coupure au niveau des liaisons esters) pour former des acides gras et des alcools. Des endo-enzymes vont ensuite catalyser l'hydrolyse de ces acides gras majoritairement à longues chaînes par une succession de coupures oxydatives (mécanisme de la bêta-oxydation) pour former de l'acétyl co-A, étape préalable à la respiration pour aboutir à la formation de CO₂, d'eau et d'énergie nécessaire à la multiplication cellulaire. Ces réactions sont aérobies et nécessitent un apport d'oxygène.

L'HYDROLYSE

Lors de l'hydrolyse des glycérides, il y a libération d'acides gras et d'alcool.



Réaction de l'hydrolyse d'un triglycéride

Cette hydrolyse génère des composés intermédiaires comme des diglycérides et des monoglycérides. En milieu aqueux, cette hydrolyse est rapide, complète et s'effectue aussi bien sur la partie adsorbée que sur la fraction présente dans l'eau interstitielle. Rappelons que ces lipides, caractérisés par leur caractère hydrophobe, ont une capacité d'adsorption très importante sur les particules.

Les acides gras sont ensuite absorbés par la biomasse.

LA BÉTA-OXYDATION

Ce mécanisme est intracellulaire et beaucoup plus complexe, il ne sera pas détaillé dans ce document.

Les acides gras saturés ou insaturés libérés lors de l'hydrolyse sont transformés en acide gras saturés préalablement à l'oxydation. Lors de cette réaction d'oxydation intracellulaire, on aboutit à la dégradation des acides gras en formant du CO₂, de l'eau et de la biomasse. Cette réaction est d'autant plus efficace que la longueur de la chaîne carbonée des acides gras diminue et que le milieu est aérobie.

L'adsorption puis l'assimilation dépendent de certaines conditions du milieu comme :

- la température : l'hydrolyse biologique est dépendante de la température du milieu ;
- le pH : l'absorption optimale par la biomasse se situe à un pH de 7 à 8.

LA BIOMASSE IMPLIQUÉE

Les micro-organismes lipolytiques les plus fréquents parmi les espèces aérobies et anaérobies facultatives véhiculées par les eaux vannes (MAES, 1994) sont les *Pseudomonas* (aérobies strictes) et les *Entérobactéries*.

Dans les réacteurs de traitement biologique des graisses, lorsque le système est stabilisé et la biomasse adaptée au substrat à dégrader, on remarque un enrichissement en bactéries forte-

ment lipolytiques par rapport à la biomasse issue des boues activées.

La plupart des bactéries présentes sont des bactéries Gram négatif (donc plus résistantes aux inhibiteurs que les bactéries Gram positif grâce à la composition de leur paroi). Les principaux genres rencontrés sont *Pseudomonas*, *Acinetobacter* et *Aeromonas*, ces dernières étant capables d'assurer à la fois l'hydrolyse des graisses et l'oxydation des acides gras.

MISE EN ŒUVRE DU TRAITEMENT BIOLOGIQUE DES GRAISSES

Le traitement biologique des graisses nécessite uniquement un bassin d'aération spécifique pour le développement de micro-organismes aérobies. Les ouvrages ou équipements précédant ce bassin ont pour seule fonction la préparation du déchet graisseux afin de faciliter son transport, de répartir les variations de charge, d'accélérer le traitement par une hydrolyse chimique et éventuellement de rectifier le pH. Ces traitements préalables ne sont pas obligatoires mais ils limitent les contraintes d'exploitation lors de l'injection du déchet graisseux dans le réacteur biologique et améliorent les performances du système.

Les principaux paramètres essentiels pour dimensionner un réacteur de traitement biologique aérobique des graisses sont :

$$\text{Charge massique (Cm)} = \frac{\text{Kg de DCO injecté par jour}}{\text{Quantité de biomasse dans le système (MVS)}}$$

Elle s'exprime en kg de DCO à traiter/kg de MVS/jour

$$\text{Charge volumique (Cv)} = \frac{\text{Kg de DCO injecté par jour}}{\text{Volume du réacteur}}$$

Elle s'exprime en kg de DCO à traiter/m³ de réacteur/jour

$$\text{Temps de séjour hydraulique (Ts)} = \frac{\text{Volume du réacteur}}{\text{Volume de déchet injecté par jour}}$$

Il s'exprime en jours.

À partir de ces trois paramètres de dimensionnement préalablement fixés, on obtient :

➤ la concentration en MVS du réacteur biologique, symbolisée par [MVS], correspondant au rapport :

$$[\text{MVS}] = \frac{\text{Charge volumique}}{\text{Charge massique}} = \frac{\text{Cv}}{\text{Cm}} \quad (1)$$

➤ la concentration en DCO du déchet graisseux injecté correspondant au produit :

$$[\text{DCO}]_{\text{dg}} = \text{Charge volumique} \times \text{Temps de séjour} = \text{Cv} \times \text{Ts} \quad (2)$$

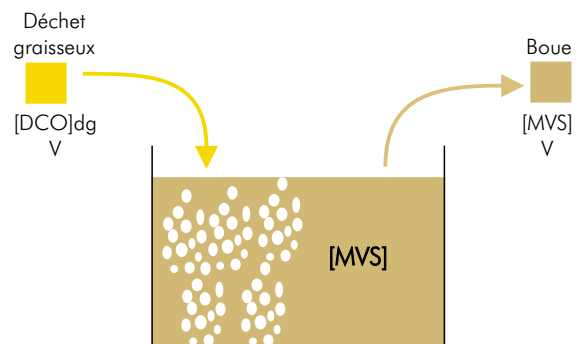


Schéma simplifié du traitement

avec [DCO] dg : concentration en DCO du déchet graisseux (en g/l)

V : volume de déchet graisseux injecté par jour ou volume de biomasse évacué par jour (en m³/j)

[MVS] : concentration en MVS dans le réacteur (en g/l)

Cas particulier lié à la concentration élevée du déchet graisseux

L'absence de recirculation de la boue dans le réacteur s'explique par la concentration très importante du déchet graisseux qui entraîne une production de boue égale à la quantité de boue évacuée à chaque alimentation en raison de l'équilibre hydraulique de l'ouvrage et dans une gamme de concentration où le transfert en oxygène est connu et peu affecté.

Les performances du système (vitesse d'assimilation de la biomasse) dépendent des paramètres de dimensionnement et de fonctionnement préalablement fixés (Cm, aération et particulièrement la quantité de MVS dans le réacteur...) et de leur stabilité.

Ainsi, dans un système en équilibre hydraulique, il faut que la quantité en MVS produite par jour soit équivalente à la quantité de biomasse évacuée du réacteur pour cette même

période, ce qui entraîne une bonne maîtrise du volume injecté donc de la dilution du déchet graisseux à traiter.

Quantité de biomasse produite journalièrement		=	Quantité de biomasse évacuée journalièrement	
Charge à traiter x Production de boue		=	Volume de sortie ou d'entrée x concentration en MVS dans le réacteur	
$(V \times [DCO]_{dg}) \times P_B$		=	$V \times [MVS]$	
en kg de DCO apporté par jour	en kg de MVS / kg de DCO apporté		en m ³ /j	en g de MVS/l

Ce qui montre que la concentration en MVS est dépendante du produit :

$$[MVS] = [DCO]_{dg} \times P_B \quad (3)$$

À partir des trois équations précédentes (1, 2, 3) et pour un réacteur biologique en équilibre (hydraulique et biomasse), on obtient :

$$\text{Temps de séjour (Ts)} = \frac{1}{C_m \times P_B} = \hat{\text{Âge de boue}} \quad (4)$$

D'où une relation inversement proportionnelle entre le temps de séjour ou l'âge de boue et le produit de la charge massique et de la production de boue.

Le temps de séjour le plus souvent préconisé, de 12 à 20 jours, est lié au paramètre de dimensionnement du procédé (charge massique de l'ordre de 0,25 kg DCO/kg MVS/jour et d'une production de boue de 0,25 kg MVS/kg DCO éliminé) et non pas directement à la nature du produit à traiter (taille des molécules).

PRINCIPALES BASES DE DIMENSIONNEMENT ET LIMITES DU SYSTÈME

➤ Les principales bases de dimensionnement présentées par les constructeurs sont les suivantes :

Charge volumique (en kg DCO/m ³ de réacteur/jour)	➔	2,5
Temps de séjour ou âge de boue (en jours)	➔	15 à 20
Concentration en MVS (en g/l)	➔	10 à 12

De ces trois paramètres, on en déduit pour l'exemple suivant :

$$C_v = 2,5 \text{ kg DCO/m}^3 \text{ de réacteur/j ;}$$

$$T_s = 15 \text{ jours ; [MVS]} = 12 \text{ g/l}$$

– la concentration en DCO du déchet graisseux à partir de l'équation (2) :

$$[\text{DCO}]_{\text{dg}} = C_v \times T_s \text{ soit } 37,5 \text{ g/l ;}$$

– la charge massique à partir de l'équation (1) :

$$C_m = C_v / [\text{MVS}] \text{ soit } 0,21 \text{ kg DCO appliqué/kg MVS/j ;}$$

– la production de boue obtenue à partir de l'équation (4) n'est valable que pour un système stable et en équilibre :

$$P_b = 1 / (C_m \times T_s \text{ (ou âge de boue)}) \text{ soit } 0,31 \text{ kg MVS/kg DCO appliqué ;}$$

Dans ce même exemple et pour les mêmes données de base, si le temps de séjour ou âge de boue augmente (20 jours), la production de boue s'établit à 0,24 kg MVS/kg DCO appliqué.

Le respect de la charge massique et sa stabilité dans le temps sont essentiels car ils conditionnent :

- le rendement épuratoire ;
- la production de boue ;
- le degré de stabilisation des boues ;
- et les besoins en oxygène.

Le temps de séjour ou l'âge de la culture est un paramètre important dans ce système car il détermine le temps disponible à la biologie pour hydrolyser et oxyder le déchet graisseux dont les molécules sont de taille importante (chaîne carbonée de 16 à 18 atomes de carbone).

➤ Dans la conception actuelle des réacteurs, ces paramètres de dimensionnement ont leurs limites. En effet, on observe les remarques suivantes.

Le fonctionnement à des charges massiques plus élevées (ou à des âges de boue plus faibles) entraîne une diminution du rendement et un risque d'acidification du milieu lié à une hydrolyse des lipides en acides gras, trop importante par rapport à la capacité de la biomasse à

assimiler les acides gras et à l'effet tampon du système.

Cette forte charge massique, d'où une forte concentration en acide gras dans le réacteur, occasionne également :

- un moussage important et un blocage de l'activité bactérienne, lié à l'acidification du milieu ;
- des difficultés de transfert d' O_2 dissous dans le floc bactérien ;
- et lors d'une activité biologique, une production de boue plus élevée et donc un âge de boue (ou temps de séjour) plus court, insuffisant pour la dégradation complète de la molécule.

Les concentrations en MVS (biomasse) sont limitées par la concentration du déchet graisseux en raison de la relation évoquée par l'équation (3).

Des concentrations en biomasse plus importantes permettraient, pour une charge massique équivalente, de fonctionner à des charges volumiques plus élevées dans des systèmes plus compacts (non étudiés dans ce document). Mais ce fonctionnement rencontre les limites suivantes :

- à l'exception d'une forte demande en oxygène, des difficultés de transfert d' O_2 en raison de la coalescence des bulles d'air ;
- un risque de dépôt entraînant des puissances de brassage élevées ;
- et des risques de moussage beaucoup plus importants en raison de la forte concentration en acide gras au moment de l'injection et non encore adsorbée avant assimilation sur le floc bactérien.

PRINCIPAUX PROCÉDÉS EXISTANTS

À ce jour, les principaux procédés recensés en France sont : le Biolix (OTV), le Biomaster G (Lyonnaise des eaux), le Lipocycle et le Lipoflux (SAUR). Les trois premiers sont des procédés mésophiles alors que le dernier est thermophile. D'autres systèmes peu représentés sur le plan national se sont développés ces dernières années mais n'ont pas fait l'objet d'un suivi méthodique. Les bases de dimensionnement des principaux

procédés annoncés par les constructeurs sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Nom du procédé	Biolix	Biomaster G	Lipocycle	Lipoflux
Temps de séjour (en jours)	environ 20	environ 20	15 à 20	10 à 15
Charge volumique (en kg DCO/m ³ /j)	2,5 à 4	2,5	2,5 à 3	10
Concentration en biomasse dans le réacteur (en g MES/l) *	10 à 15	10 à 15	10 à 15	30 à 40 (jusqu'à 50)
Charge massique moyenne (kg DCO/kg MVS/j)	0,32	0,25	0,27	0,37

*MES : les concentrations en MVS peuvent être approchées en prenant une teneur moyenne de 80 % des MES.

Ces différents systèmes sont composés d'un réacteur biologique aéré et brassé selon les cas. Ce bassin peut être précédé d'une bache tampon (homogénéisation de la charge hydraulique et organique) qui, selon le temps de séjour, permet un début de traitement (hydrolyse). Les boues obtenues sont extraites pour être dirigées vers le bassin d'aération de la filière eau ou vers l'unité de traitement des boues.

Le traitement biologique dont la réaction est exothermique peut être mésophile ou thermophile. Les bactéries mésophiles se développent entre 5 et 43 °C (optimum entre 30 et 37 °C) et les bactéries thermophiles entre 25 et 70 °C (optimum vers 45 °C pour les catégories thermophiles et 70 °C pour les catégories thermophiles extrêmes). Cette dernière technique induit néanmoins un surcoût d'investissement pour garder une température élevée (isolation thermique).

Le traitement biologique du déchet gras nécessite obligatoirement un apport de nutriments (N et P) car ils sont toujours en quantité insuffisante dans les déchets gras. Ce rééquilibrage évite le blocage de l'activité biologique. De plus, certains constructeurs préconisent

l'ajout de chaux avec un double objectif : réguler le pH aux alentours de 7 et minimiser le risque de moussage.

PRINCIPALES SPÉCIFICITÉS DES DIFFÉRENTS PROCÉDÉS

♦ Le procédé Biolix

Le *Biolix* propose une variante avec un traitement conjoint des graisses et des retours de traitement de digestion des boues (brevet OTV), ainsi qu'un traitement intermédiaire suffisant pour obtenir un substrat soluble intéressant pour la déphosphatation biologique ou la dénitrification.

♦ Le procédé Biomaster G

Deux versions sont proposées.

Version compacte : le transfert du déchet gras du dégraisseur vers le réacteur biologique est direct et en continu (pas d'apports extérieurs). L'impact des surverses sur les filières de traitement des eaux et des boues est jugé négligeable en terme de lipides.

Version autonome : ce système est alimenté par la station d'épuration et par des sources exté-

rieures. Il existe une fosse de dépotage en plus pour recevoir les apports extérieurs, ce qui implique un fonctionnement par bâchées.

♦ Le procédé Lipocycle

Les alimentations en graisses et les extractions de boue du réacteur de traitement se font par cycles automatiques. Il peut être alimenté directement par le (ou les) dégraisseur(s) du site ou depuis une fosse de stockage des résidus de dégraisseur et/ou des graisses extérieures au site. Il peut être à réacteur unique ou double selon la taille.

♦ Le procédé Lipoflux

La caractéristique principale de ce dernier procédé est l'absence de dilution du déchet graisseux. L'autre particularité est l'élimination du déchet graisseux par des bactéries thermophiles avec un fonctionnement entre 40 et 60 °C grâce à un calorifugeage du réacteur. L'alimentation et l'extraction de boues sont également cycliques.

PRINCIPALES INSTALLATIONS FONCTIONNANT EN 1998

En 1998, 59 sites en fonctionnement ont été recensés, principalement implantés sur des collectivités (à l'exception d'une installation située chez un industriel).

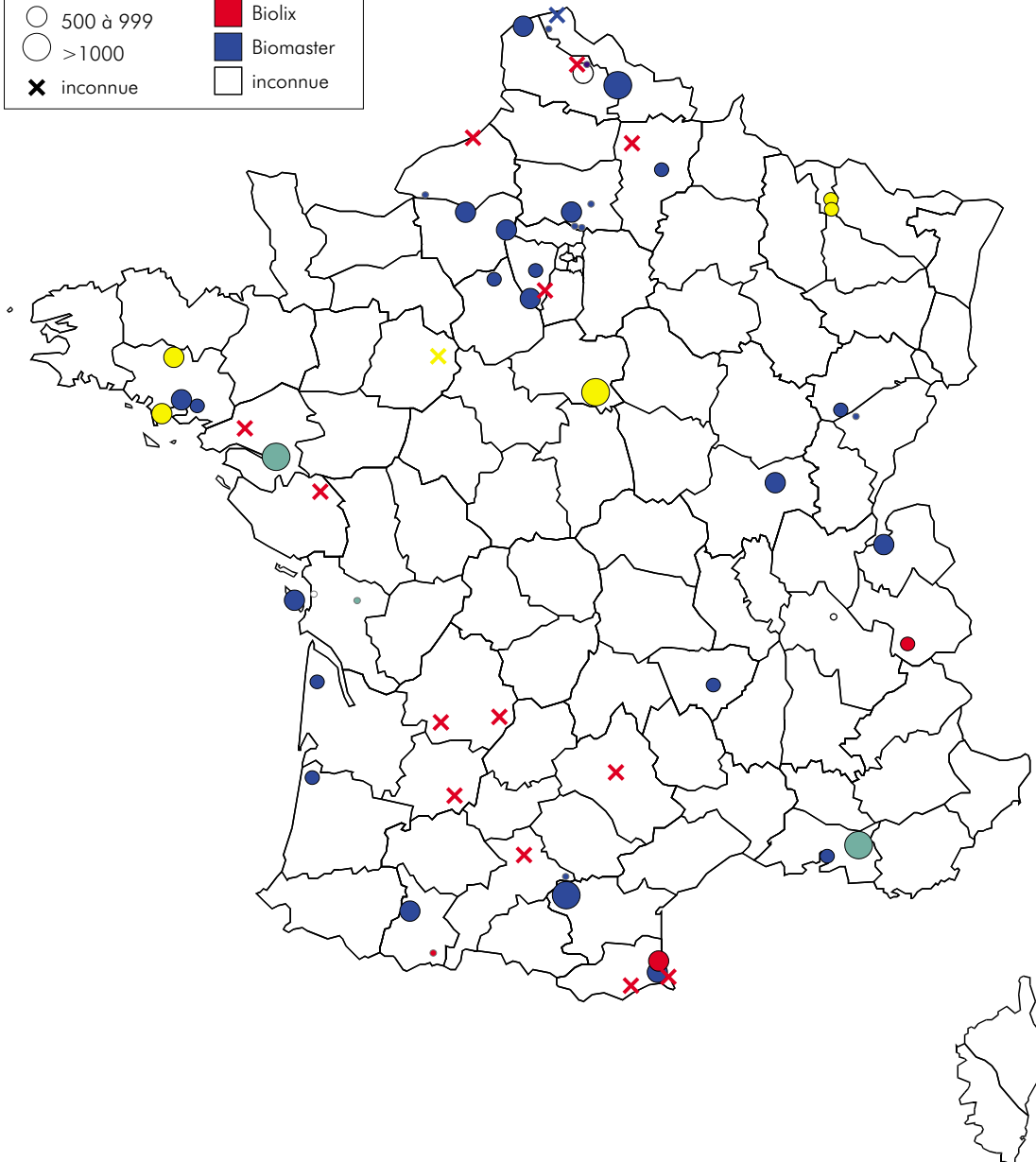
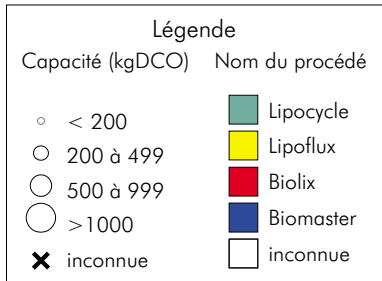
La répartition par procédé est la suivante :

Procédés	Nombre d'installations en service	% du total
Biolix	16	27
Biomaster G	31	53
Lipocycle	3	5
Lipoflux	6	10
Non déterminé	3	5
TOTAL	59	100

La répartition géographique et les capacités de traitement de ces installations sont celles mentionnées sur la carte ci-contre.

PERFORMANCES ANNONCÉES

Les rendements annoncés par les constructeurs se situent entre 80 et 90 % d'abattement sur les lipides. Ces rendements sont calculés à partir de l'échantillon global de sortie (eau + boue).





Rappels

COMPOSITION DES EFFLUENTS DOMESTIQUES EN ENTRÉE DE STATION D'ÉPURATION

La caractérisation plus fine des effluents de type domestique normalement concentrés (DCO brute proche de 750 mg d'O₂/l) révèle la composition des différentes classes biochimiques suivantes toutes exprimées en DCO :

- les lipides représentent 38 % de la DCO totale (avec 1 g de lipides apportant 2,3 g de DCO) ;
- les protéines 18 % (avec 1 g de protéines apportant 1,2 g de DCO) ;
- les glucides 15 % (avec 1 g de glucides apportant 1,06 g de DCO) ;
- la matière organique non identifiée représente 25 % ;
- divers : amines primaires...

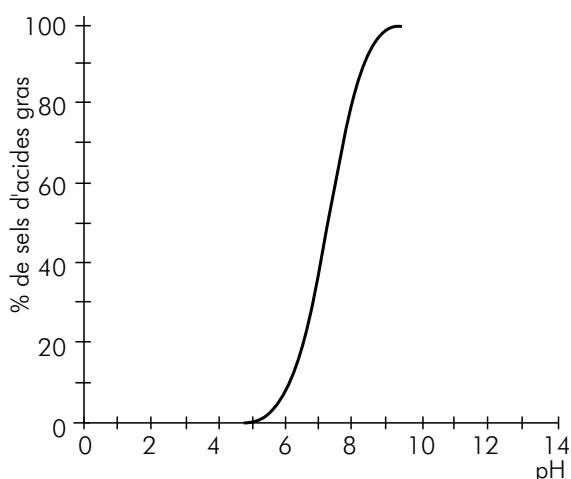
Compte tenu de leurs caractéristiques physico-chimiques (hydrophobie, insolubilité), les lipides

se retrouvent principalement sous forme particulaire et colloïdale (de l'ordre de 80 %).

Les eaux résiduaires urbaines contiennent en moyenne 100 mg de lipides/l avec des variations comprises entre 80 à 150 g de lipides/l d'effluent entrant.

Les lipides sont surtout composés de triglycérides et d'acides gras libres. La répartition entre les deux formes, hydrolysée ou non, n'a pas été étudiée mais le degré d'hydrolyse diffère énormément selon les auteurs et peut s'expliquer principalement par :

- la longueur du réseau (temps de séjour) ;
- les caractéristiques physico-chimiques du milieu, plus particulièrement le pH ; des pH alcalins entraînent une saponification avec formation d'un sel d'acides gras libres plus soluble dans l'eau (cf. page suivante).



EFFICACITÉ DES DÉGRAISSEURS

Les dessableurs-dégraisseurs sont des ouvrages dont les performances sont très variables d'un site à l'autre et d'un jour à l'autre pour un même site. Ces variations dépendent de nombreux facteurs dont les principaux sont :

➤ la caractérisation de l'effluent entrant et plus particulièrement :

- sa température qui agit sur la solubilité du produit ;
- sa concentration en MES, participant en partie à l'adsorption des lipides ;
- sa concentration en lipides et son degré d'hydrolyse.

En effet, certains auteurs ont révélé une répartition des lipides différente suivant le degré d'hydrolyse de la molécule : sous forme de triglycérides, le piégeage est favorisé par les matières en suspension ; sous forme d'acides gras, les molécules se retrouvent en surface d'ouvrage par flottation en raison d'une densité plus faible et d'un pouvoir plus hydrophobe.

➤ la conception de l'ouvrage avec :

- la puissance spécifique d'aération installée (phénomènes de turbulences non favorables à la flottation) ;
- la vitesse ascensionnelle de fonctionnement (influence sur la rétention des matières facilement décantables).

Les rendements moyens obtenus sur les dessableurs-dégraisseurs testés sont :

	DCO	Lipides	MES	MVS
Rendement d'élimination	6 à 10 %	15 à 20 %	15 à 20 %	35 %

Les lipides sont piégés sur l'ouvrage suivant deux mécanismes en deux fractions distinctes :

- en surface par flottation grâce à la densité faible et à leur caractère hydrophobe. Ils sont évacués par le racleur vers la goulotte de collecte avant d'être évacués vers un bac de stockage. C'est cette fraction qui concerne le dimensionnement du réacteur biologique des graisses ;

- en fond d'ouvrage par adsorption sur les MES piégées, composées de sables et de matières organiques facilement décantables, qui sont récupérés à la base de l'ouvrage.

Il convient d'être prudent sur la répartition de ces deux fractions en raison de la dispersion des résultats et du nombre de données insuffisantes. Nos mesures sur quelques sites ont révélé une récupération en surface de l'ordre de 20 % des lipides totaux éliminés par l'ouvrage.

La part de pollution récupérée sur le dégraisseur pour son traitement ultérieur, exprimée en DCO, représente 2 % de la DCO entrante. Les constructeurs retiennent en moyenne 5 % de la DCO totale des eaux brutes. Cet écart s'explique par les différents rendements et modes d'élimination obtenus sur les ouvrages comme le résume le tableau suivant :

	DCO	Lipides
Rendement du dessableur-dégraisseur	10 % de la DCO des eaux brutes	20 % des lipides des eaux brutes
Part récupérée par flottation*	20 % à 50 % de la DCO piégée	20 à 50 % des lipides piégés
Soit	2 à 5 % de la DCO des eaux brutes	4 à 10 % des lipides des eaux brutes

* dépend du degré d'hydrolyse

Bien que la part piégée à la surface du dégraisseur soit très faible comparée aux lipides des eaux brutes, l'implantation de cet ouvrage est indispensable. En effet, en l'absence de dégraisseur, les graisses se retrouveraient en surface des bassins d'aération principalement et du clarificateur. Leur traitement biologique nécessiterait alors un bon contact boue/graisse, ce qui impliquerait des puissances spécifiques élevées mais reste difficilement envisageable économiquement. De plus, la présence constante de flottants sur les bassins d'aération est un milieu favorable au développement de certaines bactéries filamenteuses.

Les concentrations en lipides obtenues, ramenées à l'équivalent habitant, donnent en moyenne les ratios suivants :

- en entrée station d'épuration, de 15 à 20 g de lipides/EH/jour,
- pour un traitement biologique des graisses :
 - 2 g de lipides/EH/jour soit 0,7 kg de lipides/EH/an ;
 - et de l'ordre de 10 à 11 litres de déchets graisseux par EH/an (sur la base d'une concentration moyenne de 65 g/l de lipides).

Caractérisation du déchet graisseux

La composition d'un déchet graisseux moyen, non dilué et issu du raclage du dégraisseur, est la suivante :

Paramètres	Unités	Résultats (valeur ± écart type)
DCO	g/l	181 ± 64
Lipides	g/l	69 ± 25
Ratio DCO/lipides		2,76
Ratio DCO _{lipides} /DCO totale	%	88
Azote Kjeldahl (NK)	mg/l	1079
Phosphore total (PT)	mg/l	455
Ratios DCO/NK / PT		100/0,6/0,25
Matières sèches (MS)	g/l	92
Matières volatiles en suspension (MVS)	g/l	80
% de MVS	%	87
Ratio DCO/MVS		2,26
Ratio Lipides/MVS		0,86

Les principales caractéristiques du produit sont :

- sa richesse en matière organique (MVS > à 85 % des MS) et une teneur en DCO totale moyenne de 180 g/l. Les lipides représentent au moins 85 % de la DCO totale ;

- un déséquilibre prononcé en formes azotées et phosphorées pour une activité biologique correcte. Le ratio est ramené à la DCO, celle-ci étant quasi-totalement biodégradable.

La concentration des déchets graisseux raclés peut varier fortement d'un site à l'autre suivant

les paramètres de conception et d'exploitation du dégraisseur comme :

- le mode de fonctionnement du pont raqueur (continu ou cyclique), mais aussi le calage de la lame raclante qui permet un égouttage avant alimentation de la goulotte ;

- les débits transitant dans l'ouvrage ;

- et la technique d'exploitation retenue pour faciliter son transport et son pompage. Celle utilisée le plus souvent est la dilution du déchet graisseux par ajout d'eau industrielle.

Caractérisation de la biomasse présente dans ces réacteurs

Les boues issues des réacteurs biologiques ont également des compositions très différentes d'un site à l'autre.

32

Paramètres	Caractéristiques moyennes de boues issues des réacteurs		Rappel Boues de bassin d'aération
	Moyenne	Extrêmes	
Ratio DCO/MVS	1,94	1,81 à 2,1	1,5
Ratio Lipides/MVS	0,30	0,22 à 0,39	0,03 à 0,04
% de MVS	76	72 à 82	70
DCO surnageant (mg/l)	400	125 à 870	50
Lipides surnageant (mg/l)	5,5	1,5 à 9,5	≈ 0
Indice de boue (ml/g MES)	65	60 à 90	≈ 120

On note :

- le ratio lipides/MVS élevé qui révèle une proportion de lipides adsorbés importante, fonction des performances du système, de la charge volumique appliquée et du temps d'adaptation nécessaire à la biomasse avant son assimilation ;

- une très bonne qualité des boues à la décantation.

La quantité de biomasse est souvent approchée par la mesure des MVS. Dans le cas des réacteurs de traitement des graisses, celle-ci est fré-

quemment surestimée compte tenu d'une proportion plus ou moins importante de lipides adsorbés (fonction du traitement).

On parlera de MVS_T (ou $MVS_{(ou\ totales)}$) pour l'ensemble « biomasse plus lipides adsorbés » et de MVS' pour la biomasse uniquement et on retiendra que 1 g de lipides représente 1g de MVS.

La part de lipides adsorbés peut être approchée par l'interprétation du ratio DCO_T/MVS_T avec, comme référence un ratio de l'ordre de 1,50 pour une biomasse de bassin d'aération.

Le tableau suivant présente la fraction estimée de lipides adsorbés en fonction du ratio DCO_T/MVS_T :

Ratio DCO_T/MVS_T	Taux de lipides adsorbés (%)
1,5	0
1,6	16
1,7	34
1,8	60
1,9	100

Le taux de lipides adsorbés limite n'est pas connu actuellement et pourrait être supérieur à 100 %. Ce taux est obtenu par la démarche suivante :

On sait que la DCO_T de la boue tient compte de la DCO de la biomasse et de la DCO des lipides d'où :

$$DCO_T = (MVS_T - MVS_{lipides}) \times 1,5 + 2,3 MVS_{lipides}$$

À partir de cette formule, la quantité de lipides adsorbés peut être obtenue sans passer par le dosage chimique :

$$\text{Concentration en lipides ou en MVS (g/l)} = \frac{DCO_T - 1,5 MVS_T}{0,8}$$

La valeur obtenue doit être retenue comme valeur guide et non pas comme valeur absolue et pourrait servir comme paramètre de suivi d'un réacteur par l'exploitant.

À titre d'exemple, les résultats analytiques donnent :

$$DCO_T = 28,8 \text{ g/l}$$

$MVS_T = 16 \text{ g/l}$ soit un ratio $DCO_T/MVS_T \approx 1,8$ (Référence du bassin d'aération de l'ordre de 1,5).

Cette valeur révèle une part non négligeable de lipides adsorbés sur la biomasse (proche de 60 %). La concentration en lipides est estimée à partir de la formule précédente :

$$\frac{28,8 - 1,5 \times 16}{0,8} = 6 \text{ g/l}$$

soit 6 g de lipides adsorbés/litre (lipides exprimés en MVS).

En résumé, l'échantillon est ainsi composé de 6 g de lipides/litre et de 10 g/l (16 - 6) de MVS liées à la biomasse soit 10 g de MVS'.

Performances obtenues

Plusieurs paramètres sont retenus par les constructeurs pour exprimer les rendements de ces systèmes. Ils peuvent être présentés :

- par rapport aux lipides totaux ;
- par rapport à la DCO_T (échantillon brut entrée et sortie) ;
- par rapport à la DCO_S (échantillon brut et échantillon de sortie après décantation) ;
- ou par rapport aux lipides solubles.

La présentation par rapport à la DCO_T ou la DCO_S est délicate puisque le principe de traitement est basé sur la transformation de la matière organique (lipides) en biomasse (matière organique). De plus, le paramètre DCO_S n'est pas représentatif de l'oxydation biologique compte tenu du pouvoir élevé des lipides à s'adsorber sur les floccs bactériens.

À titre indicatif, les différents rendements moyens obtenus sont les suivants :

	Lipides totaux	DCO totale	DCO soluble	Lipides solubles
Rendements moyens %	84	58	> 99	> 99
% extrême	de 79 à 89	de 44 à 74	> 99	> 99

Ces rendements en lipides sont obtenus sur des installations bien optimisées et fonctionnant :

- à une charge massique moyenne de 0,3 kg de DCO/kg de MVS/jour ;
- à une charge volumique de 3 kg DCO/m³ de bassin/jour,
- et avec un temps de séjour hydraulique (ou âge de la boue) moyen de 15 jours.

Autres résultats

DÉCANTABILITÉ DE LA BOUE

Les boues issues de ces réacteurs ont des aptitudes remarquables à la décantation. Ces résultats sont surprenants puisque cette filière pré-

sente de nombreux facteurs pouvant pénaliser la décantabilité comme le type de substrat (déséquilibré et riche en acide gras) et l'absence de particules au fort pouvoir lestant (fraction minérale).

L'absence de foisonnement s'explique en partie par la charge appliquée élevée, une alimentation par cycle favorisant le développement de bactéries aux vitesses de captures élevées, et la spécificité de la biomasse présente.

Les indices de boues obtenus ont varié de 60 à 90 ml/g de MES.

PRODUCTION DE BOUE

Les valeurs extrêmes des résultats obtenus sur les sites sont les suivantes :

Paramètres	Valeurs extrêmes	
Production de boue (kg de MVS'/kg de DCO éliminé)	0,19	0,3
Âge de boue (jours)	17	12
Nutriments (N-NH ₄ ⁺ et P-PO ₄ ³⁻)	Limites	Élevés
Température (° C)	42	30
Taux de lipides adsorbés (%)	39	22
Cm (kg de DCO appliqué/kg de MVS'/j)	0,26	0,26
Cm' (kg de DCO appliqué/kg de MVS'/j)	0,42	0,35
Vitesse d'assimilation (kg de DCO éliminé/kg de MVS'/j)	0,3	0,31

On observe :

- des productions de boue différentes pour des quantités de graisses assimilées très proches. Ces variations s'expliquent principalement par des températures différentes : l'élévation de température favorise la cinétique et plus particulièrement la phase d'auto-oxydation occasionnant une production de boue plus faible ;
- le taux de lipides adsorbés très élevé pour un site malgré un âge de boue plus important est surprenant et peut s'expliquer par un manque de nutriments, limitant les cinétiques d'assimilation.

On retiendra, en moyenne, une production de boue de 0,3 kg de MVS'/kg de DCO éliminé, dans les conditions de fonctionnement suivantes :

- $C_m = 0,3$ kg de DCO appliqué/kg de MVS'/jour
- une température de 30 à 35°C dans le réacteur
- aucun facteur limitant : pH, nutriments, O_2

Le calcul de cette production de boue a nécessité un certain nombre de précautions dues à la difficulté d'échantillonnage, aux pertes de MVS (lipides) lors du séchage et à la distribution entre les MVS liées aux lipides et celles liées à la biomasse proprement dite (MVS').

BESOINS EN OXYGÈNE

Les valeurs obtenues sur les différents sites étudiés ont révélé une très forte hétérogénéité des données de dimensionnement, soit :

- entre 30 et 100 Nm³ d'air injecté/kg de DCO à traiter,
- des puissances spécifiques allant de 110 à 350 W/m³ de réacteur,
- des systèmes de diffusion d'air en moyennes ou fines bulles.

Ces données de dimensionnement entraînent le plus souvent un surdimensionnement dû principalement à l'absence de référence :

- sur le transfert d'oxygène dans l'eau pour des milieux riches en lipides, avec des concentrations en MVS' élevées et pour des températures importantes (réaction très exothermique) ;
- et sur le transfert d'oxygène dans le floc.

Les résultats obtenus ont montré des débits d'air insufflés de 40 à 85 Nm³ d'air/kg de DCO à traiter. Ces fortes valeurs s'expliquent par l'absence d'asservissement lié aux besoins de l'étude et à des teneurs de consigne en O_2 élevées fixées dans le réacteur. Ces fortes valeurs (de l'ordre de 5 mg d' O_2 /litre) ont pénalisé le coefficient de transfert global (CTG) d'oxygène dans le système (cf. annexe III).



Dimensionnement des installations

ÉVALUATION DE LA CHARGE À TRAITER ET DU VOLUME COLLECTÉ

Les charges à traiter, pour le dimensionnement des futures installations, sont estimées à partir des résultats obtenus sur différents sites et en prenant en compte le pourcentage qu'elles représentent par rapport à la charge entrante sur la station d'épuration. Ce pourcentage ne peut être retenu que pour des effluents à dominante domestique.

On retiendra une valeur de 3,5 % à 4 % de la DCO entrante sur la station, valeur qui est obtenue à partir du raisonnement suivant :

- 30 à 35 % de la charge en DCO d'un effluent d'entrée station est liée à la fraction lipidique ;
- 20 % de cette DCO (lipidique) est retenue par le dessableur-dégraisseur ;
- 50 % de cet abattement se retrouve en surface de l'ouvrage, partie raclée alimentant le traitement des graisses.



Un déchet graisseux brut, raclé en surface du dégraisseur et en l'absence de dilution due le plus souvent au nettoyage de la goulotte de collecte pour faciliter son pompage, a une concentration moyenne en DCO de l'ordre de 180 g de DCO/l \pm 64 (écart-type). À partir du flux à traiter journalièrement et de sa concentration moyenne, on obtient le volume journalier à traiter, donnée importante dans le cas où un stockage est prévu à l'amont du réacteur biologique.

CHOIX DE LA CHARGE MASSIQUE

La charge massique représente la quantité de matières organiques (déchet graisseux) appliquée à la biomasse. Les abattements de 80 % sur les lipides sont obtenus pour des charges massiques de 0,3 kg de DCO appliqué/kg de MVS'/j, sans aucun facteur limitant.

Des charges massiques plus élevées ont des incidences connues comme la diminution du rendement de l'installation et l'augmentation de la production de boue. Sur ce type de réacteur, d'autres incidences peuvent apparaître en raison de l'acidité du produit initial due à une forte concentration d'acide gras libres induite

par l'hydrolyse extra-cellulaire, étape indispensable avant l'assimilation biologique.

Cette acidité aura comme conséquences importantes :

- un blocage de l'activité enzymatique des lipases (un effet bactériostatique, voire bactéricide) ayant une toxicité plus élevée avec des acides gras à courte chaîne ;
- un blocage de l'activité d'assimilation d'où une augmentation de la concentration en acide gras libres ou estérifiés dans le milieu, facteur favorable à un moussage excessif entraînant d'énormes contraintes d'exploitation.

De plus, une concentration importante de lipides dans l'eau interstitielle est souvent révélatrice d'une concentration en lipides adsorbés très élevée proche de la capacité limite d'adsorption de la biomasse.

DIMENSIONNEMENT DES AÉRATEURS

Des études en cours permettront dans un avenir proche d'apporter des informations plus précises sur le sujet compte tenu de la spécificité du milieu ; en particulier une meilleure connaissance du transfert en oxygène dans ce milieu où les concentrations en MVS et en lipides sont élevées et pour des températures importantes.

CHOIX DU TYPE D'AÉRATEURS

Les systèmes d'apport d'oxygène installés sont le plus souvent des diffuseurs de type membrane souple, mais leur durée de vie est dépendante de plusieurs facteurs comme leurs conditions d'utilisation (débits d'air, température, temps de fonctionnement, nombre de cycles marche/arrêt par jour) et du milieu dans lequel ils se trouvent.

Pour le dimensionnement des installations, les débits d'air injectés rapportés au volume du réacteur sont élevés compte tenu des charges volumiques importantes et de la forte concentration en MVS. Des précautions au niveau des équipements dans le réacteur devront être prises.

Sur des installations bien gérées, la durée de vie des membranes est difficilement approchée (procédé récent), mais reste inférieure à celle des membranes rencontrées dans les filières de traitement des eaux usées en raison des températures élevées. Sur des installations mal gérées, le risque important d'acidification du milieu peut entraîner un impact non négligeable sur la longévité de ces systèmes de diffusion.

Des précautions de conception devront être prises au moment de l'ancrage des diffuseurs en raison des forts débits d'air injecté et des puissances de brassage élevées dans ces réacteurs.

Le gain de transfert d'O₂ selon la taille des bulles de gaz n'a pas été mesuré dans ces milieux particuliers.

L'asservissement du fonctionnement des surpresseurs en fonction des teneurs en oxygène dissous du milieu est important en raison du type d'alimentation (continue ou par bâchée) et du taux de charge de ces réacteurs. De plus, les temps d'arrêt de l'aération doivent être relativement courts en raison d'une concentration en matière organique élevée très facilement fermentescible.

BESOINS EN OXYGÈNE

La demande en oxygène peut être estimée à partir de la formule d'Eckenfelder, le détail du calcul se trouve à l'annexe IV .

Un bilan matière, exprimé en DCO, permet d'apprécier la quantité d'oxygène consommée par rapport à la quantité de matière organique apportée ou éliminée.

La quantité d'oxygène consommée est obtenue par différence entre la quantité de DCO apportée et celle rejetée, en prenant en compte, pour ce rejet, la quantité non assimilable et la fraction transformée en biomasse (sachant que 1 g de MVS' (biomasse) apporte 1,45 g de DCO).

Sur les différents sites étudiés, la quantité d'oxygène consommée par rapport à la quantité de

DCO éliminée a varié de 0,56 à 0,85 kg d'O₂ consommé.

Ces différences sont dues à la production de boue différente d'un site à l'autre, dépendante de la température et des facteurs limitants (nutriments), et à l'efficacité du système.

À partir de ce bilan matière, on retiendra en moyenne une consommation d'oxygène de :

➤ 0,70 kg d'O₂ consommé/kg DCO éliminé biologiquement,

➤ ou 0,6 kg d'O₂ consommé/kg de DCO appliqué.

Afin d'approcher les débits d'air à injecter, plusieurs hypothèses doivent être retenues, en particulier sur le coefficient de transfert global (CTG) correspondant au passage de l'eau claire en boue :

AH' = apport horaire en boue pour éliminer 1 kg de DCO = 0,7 kg d'O₂.

CTG = 0,45 (cf. Norme française « NF ISO 660 » d'août 1996)

AH (eau claire) = AH'/CTG = 2,22 kg d'O₂

On prendra un rendement d'oxygénation moyen en eau claire de 4 % par mètre d'eau au-dessus des diffuseurs en l'absence d'agitation (et un rendement de 3 % lors de l'utilisation des moyennes bulles). Sur la base d'un réacteur de 5 m de hauteur d'eau au-dessus du système d'aération, on retiendra un rendement de transfert d'oxygène en eau claire de 20 %.

Remarques : ces rendements sont issus des données obtenues sur des bassins d'aération équipés de diffuseurs fines bulles et traitant des effluents domestiques. L'extrapolation à des réacteurs de traitement des graisses est délicate mais s'avère indispensable en l'absence de données plus précises sur le sujet.

On note : 1 m³ d'air contient, dans les conditions standard (1013 hPa et 0°C), 300 g d'O₂ (cf. Annexe III).

Ainsi, pour éliminer biologiquement 1 kg de DCO, les volumes d'air à injecter seront obtenus à partir de la formule suivante :

$$\text{Débit d'air à injecter} = \text{AH}/(\text{RO} \times \text{X})$$

Avec : RO : rendement d'oxygénation, X : quantité d'oxygène contenue dans 1 m³ d'air

Soit :

$$\text{➤ Débit d'air à injecter} = 2,22/(0,20 \times 0,3) = 37 \text{ m}^3 \text{ d'air/kg de DCO éliminé.}$$

En résumé, compte tenu des nombreuses hypothèses et des inconnues (CTG dans ce type de milieu), une valeur de débit d'air à injecter dans ces réacteurs de l'ordre de 35 à 40 Nm³ d'air à injecter/kg de DCO éliminé biologiquement peut être retenue.

Ces données correspondent à une demande journalière. Si les apports de déchet graisseux se font par bâchées, la quantité d'oxygène devra être adaptée pour éviter une trop longue période sans oxygène, néfaste à l'activité biologique.

NUTRIMENTS

Les nutriments sont indispensables pour l'activité biologique et donc nécessaires à l'assimilation du déchet graisseux.

La composition en N et P de la biomasse issue des stations de type boues activées en aération prolongée est de 9 % d'azote et 2 % de phosphore par rapport aux MVS.

Les réacteurs de traitement des graisses produisent 0,3 kg de MVS'/kg de DCO éliminé.

Pour éliminer 100 kg de DCO, et donc produire 30 kg de MVS', les besoins en nutriments sont de 2,7 kg d'azote assimilable et 0,6 kg de phosphore assimilable.

On retiendra donc un ratio moyen DCO/N-NH₄⁺/P-PO₄³⁻ de 100/2,8/0,6.

Les différents produits utilisables pour une complémentation sont les suivants :

Paramètre	Forme assimilable	Produit commercial	Formule	Formes disponibles	% de forme assimilable	Autres caractéristiques
Azote	Azote ammoniacal	Sulfate d'ammonium	$(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$	Poudre	20 à 21 % de N (attention 23 à 24 % de S)	Légèrement acide (pH de l'ordre de 6)
	Azote ammoniacal	Ammoniaque (alcali)	NH_4OH (pureté 30 % en volume)	Liquide	0,22 kg de N/litre d'alcali	Produit basique dangereux
	Azote ammoniacal	Ammonitrates	NH_4NO_3	Solide (granulés)	33,5 % d'azote total avec 16,7 % d'azote nitrique et 16,8 % d'azote ammoniacal	—
	Nécessite une ammonification	Urée (azote organique)	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	Solide	460 g d'azote/kg de produit	—
Produit combiné en N et P	Azote ammoniacal orthophosphate	Phosphate diammonique	$(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$	Poudre	21 % de N et 23,3 % de P	Peu recommandé car trop de P par rapport au N
Phosphore	Phosphate	Acide ortho-phosphorique	H_3PO_4	Liquide	3 formes 45 % H_3PO_4 61 % H_3PO_4 75 % H_3PO_4	Produit acide dangereux
	Phosphate	Phosphate/disodique	Na_2HPO_4	Cristallisé	21 % en P	Produit basique peu dangereux
	Phosphate	Phosphate trisodique	Na_3PO_4	Cristallisé	19 % en P	Produit basique peu dangereux
	Phosphate	Superphosphate	?	Poudre (engrais)	?	—

Lors d'une complémentation, le pH du milieu devra être surveillé afin d'éviter une trop forte augmentation lors de l'ajout d'une base, avec pour conséquence une saponification entraînant un moussage, et inversement pour une complémentation avec un produit acide qui pourrait bloquer en partie l'activité biologique.

Compte tenu du temps de séjour élevé dans ces réacteurs, un apport journalier en nutriments est suffisant quelque soit le mode d'alimentation (continu ou par bâchées).

Équipements spécifiques

DILUTION DU DÉCHET GRAISSEUX

La dilution du déchet grasseyeux doit permettre le maintien d'une concentration en MES (ou MVS) constante dans le réacteur. Dans un ouvrage à niveau constant, la dilution des graisses entrantes permet d'évacuer du système la quantité de MES produites par jour pour maintenir une charge massique stable dans le réacteur.

La dilution ou non du déchet grasseyeux est fixée par la relation suivante abordée au paragraphe "Mise en œuvre du traitement biologique des graisses (équation 3)" :

$$\text{Concentration du déchet grasseyeux} \times \text{production de boue} = \text{concentration en MVS'}$$

$$[\text{DCO}]_{\text{dg}} \times P_{\text{B (en biomasse)}} = [\text{MVS'}]$$

Deux cas peuvent se présenter.

➤ **Absence de dilution** : la concentration en MVS' (biomasse) dans le réacteur serait de l'ordre de 50 g/litre compte tenu d'une concentration en DCO du déchet grasseyeux de 180 g/l et d'une production de boue de l'ordre de 0,3 kg de MVS'/kg de DCO à traiter.

➤ **Dilution fixée** : l'obtention d'une concentration en MVS' (biomasse) de l'ordre de 10 g/l nécessite d'injecter un déchet grasseyeux de l'ordre de 33 g de DCO/l soit une dilution du produit au cinquième.

Le volume d'eau à apporter journalièrement en plus du déchet grasseyeux est obtenu par la formule suivante :

$$\frac{\text{Volume d'eau de dilution en m}^3/\text{j}}{[\text{MES}] \text{ ou } [\text{MVS}]} = \frac{C \times P_{\text{B}}}{\text{Vdg}}$$

Avec :

C : charge journalière moyenne en DCO appliquée sur le réacteur (en kg DCO/j)

P_{B} : production de boue (en kg de MES ou MVS ou MVS'/kg de DCO à traiter)

[MES] ou [MVS] : concentration en MES ou MVS ou MVS' (en g/l)

Vdg : volume de déchet grasseyeux brut non dilué (en m³/j)

La dilution du déchet grasseyeux présente d'autres avantages, en particulier :

- elle facilite son transport, gravitaire ou par pompage, et permet aussi le nettoyage des goulottes et conduites de transfert ;
- l'utilisation d'eau pré-traitée permet l'apport d'une faible partie des nutriments sous formes assimilables (N-NH₄⁺ et P-PO₄³⁻). C'est à ce niveau du traitement que les concentrations en formes assimilables sont les plus élevées.

La fiabilité de ce poste est fondamentale afin d'éviter tout risque de lessivage du réacteur biologique des graisses.

DÉGRILLEUR

En dehors du dégrilleur de la file eau classique (3 à 6 cm d'espacement de barreaux pour les filières boues activées), sa présence est indispensable pour les sites où l'apport direct de déchets grasseyeux extérieurs est en place. En revanche, la recherche d'une élimination poussée du particulaire par l'installation d'une maille plus fine entraînerait un abattement en graisses non traitées trop élevé et contraignant en exploitation (colmatage fréquent, volume de refus élevé). La mise en place d'un broyeur peut faciliter l'exploitation, surtout la partie protection des pompes.

FOSSE DE STOCKAGE

Sa présence est indispensable pour des réacteurs alimentés par bâchées. Elle présente en outre l'avantage :

– d’homogénéiser le produit collecté, très variable au cours de la journée et d’un jour à l’autre, si son volume le permet ;

– d’amorcer une hydrolyse naturelle ou chimique (optionnelle).

Des recommandations peuvent être formulées sur la conception de cet ouvrage :

– la mise en place d’un agitateur s’avère indispensable ;

– le déchet graisseux est composé de nombreuses filasses ou autres produits grossiers gênant rapidement le bon fonctionnement de l’agitateur et de la pompe de reprise. La mise en place d’un broyeur (s’il est absent à l’amont) ou d’une pompe dilacératrice (plus contraignante d’exploitation en raison de leur moindre efficacité dans le temps) à l’amont de l’ouvrage devrait apporter une très nette amélioration dans l’exploitation de cet ouvrage ;

– en fonction du temps de séjour du déchet graisseux dans l’ouvrage, un revêtement anti-acide est conseillé compte tenu des caractéristiques du produit ;

– la complémentation en nutriments peut être effectuée à ce niveau ou au sein du réacteur ;

– le diamètre des canalisations devra être important pour éviter tout risque de colmatage. Un diamètre supérieur à 150 mm est fortement conseillé ;

– le choix des détecteurs de niveau par mesure de pression est préférable en raison des filasses (problème sur les poires) ou chapeau de flottants. Les systèmes de commande par poires de niveau sont à proscrire.

RÉACTEUR BIOLOGIQUE

En cas de dysfonctionnements dus à des erreurs d’exploitation ou à la non-fiabilité des équipements de l’ouvrage, le réacteur peut présenter :

– un moussage excessif. Ce point devra être intégré au moment de la conception par la prise

en compte d’une hauteur de revanche de l’ordre de deux mètres. En fonctionnement normal, au moment des alimentations (forte concentration d’acides gras), un moussage faible peut se déclencher mais il sera de courte durée ;

– une acidité importante dans le réacteur. Cette acidité peut être néfaste pour le génie civil et les équipements immergés : diffuseurs et leur système de fixation, pompes, canalisations. Ce risque d’acidité devra être pris en compte à la conception et la mise en place d’un suivi du pH peut limiter ou éviter ces risques de détérioration. En cas de dérive du pH, l’apport d’une base peut être envisagé.

Les équipements à prévoir sont :

– un système d’aération (*cf.* dimensionnement) équipé d’un surpresseur de secours ;

– un système de brassage (plus particulièrement sur les systèmes par bâteaux où l’asservissement des surpresseurs est indispensable). Les puissances spécifiques de brassage préconisées sont de l’ordre de 25 à 30 W/m³ de bassin. Ces puissances sont élevées mais nécessaires compte tenu des caractéristiques du déchet graisseux (particulaire, de densité inférieure à 1 et de son caractère hydrophobe) et de la concentration élevée des boues (concentration en MES comprise entre 10 à 15 g/l). Une bonne optimisation du couple aération/brassage peut permettre un gain énergétique non négligeable ;

– une arrivée pour la complémentation en N-NH₄⁺ et P-PO₄³⁻ ;

– une arrivée pour la dilution, si elle n’est pas située à l’amont, dans la fosse de stockage ;

– un point bas équipé d’une pompe ou d’une canalisation pour la vidange totale du réacteur ;

– l’évacuation des boues peut se faire gravitairement par trop plein (cette sortie doit être équipée d’une cloison siphonoïde pour éviter l’introduction de mousses et de flottants néfastes à la file eau) ou par pompage ;

– une mesure de l’oxygène dissous avec enregistrement est conseillée. Il conviendra d’être

prudent dans l'interprétation des valeurs obtenues en raison du milieu particulier, pénalisant la réponse de la sonde.

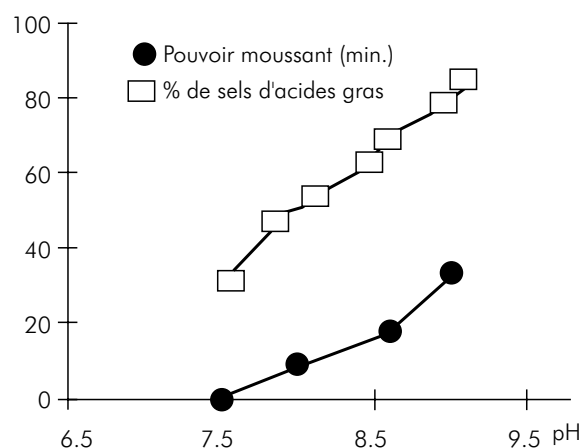
– d'autres capteurs peuvent être installés en particulier le pH, indicateur du blocage de l'assimilation, et la température, révélatrice d'une forte activité métabolique au moment de l'injection.

Exploitation de ces réacteurs

MOUSSAGE

Un moussage très important sur un réacteur fonctionnant sur les bases de dimensionnement préconisées, est révélateur d'un dysfonctionnement pouvant être dû principalement :

– à une charge lipidique trop élevée par rapport à la biomasse active, ce qui entraîne compte tenu du pH du milieu (pH 7,5), une augmentation du pourcentage de sels d'acides gras (savons) et donc de mousses comme le montre le graphique suivant :



Courbe du pouvoir moussant (ou du pourcentage de savon) en fonction du pH du milieu

Cette courbe a été obtenue sur des essais en laboratoire et révèle le risque potentiel du moussage en fonction du pH du milieu.

Rappelons que la présence dans le milieu de sels d'acides gras (savons) combinée à l'injection d'air conduit à la formation de mousses.

– à un blocage de l'activité biologique dû à un manque de nutriments ou à l'acidité du milieu.

Lors d'un moussage excessif et incontrôlable, une réponse immédiate peut être entreprise par l'ajout d'ion calcium (chaux) entraînant la précipitation des sels d'acides gras.

D'autres techniques peuvent être testées en particulier le brise-jet et l'aération syncopee.

DILUTION

Selon l'évolution de la concentration en MES ou MVS dans le réacteur, l'exploitant corrigera le volume d'eau de dilution à introduire. Ce volume d'eau apporté pourra être affiné au cours de l'exploitation courante. Il convient cependant d'éviter des fluctuations trop élevées en MES (1 à 2 g/l MES) pour ne pas entraîner de trop fortes perturbations à la biomasse. Toute correction de la dilution devra donc être progressive.

Les principales conséquences de brutales variations de la dilution sont :

➤ dilution trop forte :

– lessivage du système, concentration faible en MVS ;

– augmentation de la charge massique, risque d'acidité du milieu ;

– diminution du temps de séjour ;

– rendement plus faible.

➤ dilution insuffisante :

– forte concentration en MVS ;

– risque de sous aération ;

– éventuelles difficultés de transfert d' O_2 ;

– risque de dépôts.

NUTRIMENTS

Le suivi hebdomadaire, en sortie du réacteur, des concentrations des formes assimilables $N-NH_4^+$ et $P-PO_4^{3-}$ est un bon indicateur du

dosage des réactifs apportés. Les concentrations résiduelles à obtenir sont fonction de la méthode de dosage par l'exploitant et de sa précision. À titre indicatif, avec les méthodes normalisées, les concentrations résiduelles à obtenir sont de l'ordre de 10 mg/l de N-NH_4^+ et de 5 mg/l de P-PO_4^{3-} .

SUIVI ET ANALYSES

À l'exception d'un suivi poussé lors de la mise en route de l'ouvrage afin d'apprécier l'ensemble des paramètres de dimensionnement, les principales analyses et leurs fréquences, à effectuer sur les boues du réacteur, lorsque le système est en régime stabilisé, sont les suivantes :

Analyses	Fréquence	Objectifs
MES, MVS	1 fois par semaine associée à la mesure du volume dans le réacteur lorsque le système est vidangé par pompage	Ajuster la dilution du déchet graisseux pour maintenir une concentration en MES constante
N-NH_4^+ dissous P-PO_4^{3-} dissous	1 fois par semaine (et éventuellement N-NO_3^- pour doser l'excès d'azote)	Ajuster les doses de nutriments à apporter
DCO totale DCO dissoute	1 fois par mois	Vérifier la qualité du traitement

44

L'analyse du déchet graisseux est délicate mais sa mesure (MS et DCO) pourra être envisagée à une fréquence hebdomadaire, voire moins. Les résultats obtenus pourront être comparés avec la formule de l'équation (3) :

$$[\text{déchet graisseux dilué}] = [\text{MVS}] \times \text{production de boues}$$

L'utilisation de cette formule n'est envisageable que lorsque le réacteur est en régime stabilisé.

À une fréquence trimestrielle, un dosage lipidique, plus compliqué, peut être demandé afin de vérifier la qualité du déchet dit « graisseux » et la corrélation DCO/lipides.

Pour des déchets graisseux provenant de l'extérieur, des mesures (DCO, MVS, lipides) plus fréquentes devront être programmées.

Des précautions devront être prises lors des différents prélèvements, plus particulièrement sur le déchet graisseux (particulaire, hydrophobicité) et sur les boues (forte concentration).

Pour le suivi quotidien, les principaux points à inspecter sont :

- l'état des capteurs, principalement les sondes à oxygène et les sondes de niveaux ;
- les filasses accrochées aux pales de l'agitateur (fosse de stockage) ;
- le dégrilleur ;
- le bon fonctionnement des postes dilution et complémentation en nutriments.

En résumé, ce type de traitement étant encore peu répandu, donc peu connu, les principaux points prioritaires pour leur exploitation consistent à :

- surveiller le bon fonctionnement mécanique de l'ensemble des équipements ;
- maintenir en permanence une oxygénation suffisante avec un nettoyage fréquent des sondes ;
- approvisionner les réactifs en quantité nécessaire (présence d'un résiduel en sortie) ;
- assurer une concentration en MES relativement constante dans le réacteur ;
- et réaliser des prélèvements représentatifs pour le suivi du réacteur.



Les déchets graisseux issus des ouvrages de pré-traitement des stations d'épuration traitant principalement des effluents domestiques représentent de l'ordre de 23 % du gisement graisseux en France. Ils sont composés en majorité de matières organiques biodégradables (principalement de triglycérides et d'acides gras libres). La caractérisation plus précise du produit issu de plusieurs installations a révélé une composition équivalente d'un site à l'autre, les valeurs obtenues sont les suivantes :

DCO \approx 180 g/l, 85 % de cette DCO totale étant apportée par les lipides

Lipides \approx 70 g/l

MS = 90 g/l

MVS = 80 g/l soit
87 % des MS

et des concentrations très faibles en formes azotées et phosphorées.

Ces lipides récupérés en surface de dégraisseur ne représentent qu'une faible proportion des lipides apportés à la station d'épuration, mais la part retenue à ce niveau est la fraction la plus pénalisante pour la filière de traitement eau en raison des caractéristiques physiques du produit : hydrophobicité, fraction particulaire et/ou

colloïdale de densité inférieure à 1 entraînant leur flottation sur les ouvrages.

On notera en moyenne que la fraction récupérée en surface du dégraisseur représente environ 2 à 3 % de la DCO totale entrante (5 % est une valeur maximale) ou 4 à 10 % des lipides entrants.

Différentes techniques de traitement de ces déchets peuvent être envisagées dont le traitement biologique aérobie. À partir d'une biomasse aérobie adaptée au produit, les graisses vont subir une hydrolyse pour aboutir en fin de traitement à du CO_2 , de l'eau et de la nouvelle biomasse. L'obtention d'un niveau correct de traitement nécessite, en plus des données de dimensionnement, des précautions particulières au niveau de l'exploitation de ces ouvrages.

À l'amont de ce traitement, la mise en place d'une bache de stockage, préconisée par certains constructeurs, s'avère indispensable dans le cas de collecte de graisses extérieures qui nécessitent lors de leur dépotage, un contrôle et un dégrillage afin de préserver la filière de traitement de tout élément grossier et non traitable.

Ces ouvrages de traitement, à volume constant et en l'absence de recirculation, doivent être gérés de façon à maintenir une concentration constante en MVS dans le réacteur, ce qui nécessite l'évacuation journalière des boues produites pour cette même période. Cette quantité évacuée par surverse ou par pompage est dépendante du volume injecté de produit dont la dilution est calculée en fonction de la charge et du volume à traiter, de la concentration en MVS dans le réacteur et de la production spécifique de boue.

Les rendements obtenus sur les lipides et sur des installations optimisées sont de l'ordre de 80 à 85 %, avec pour principaux paramètres de fonctionnement, les valeurs suivantes :

- charge massique = 0,3 kg de DCO/kg de MVS/jour ;
- charge volumique = 3 kg de DCO/m³ de bassin/jour ;
- temps de séjour ou âge de boue = 15 jours ;
- Concentration de biomasse = 10 g de biomasse/litre.

Sur ce type de réacteur, la mesure des MVS ne permet pas toujours de quantifier la biomasse présente en raison du pouvoir élevé des lipides à s'adsorber sur le floc bactérien.

La production de biomasse, dépendant de plusieurs paramètres comme la charge massique, la température, etc., a donné sur nos installations une production spécifique moyenne de 0,3 kg de biomasse/kg de DCO éliminé.

Sur les paramètres de fonctionnement retenus, on observe pour les ouvrages étudiés :

- un maintien du pH à des valeurs favorables au traitement biologique malgré la présence d'acide gras libres apportés par le réseau ou

formés après hydrolyse dans le réacteur ;

- la nécessité d'une complémentation en N et P sous forme assimilable ;
- un moussage faible à condition que le processus biologique ne soit pas bloqué ou ralenti par un facteur limitant comme l'O₂, le pH, ou/et les nutriments ;
- une température élevée dans le réacteur qui facilite l'accessibilité du produit par la biomasse, qui augmente les cinétiques d'assimilation d'où des réactions d'auto-oxydation plus rapide entraînant une production de boue plus faible. Ces températures élevées, de 30 à 42 °C, sont principalement dues à la réaction exothermique de dégradation des lipides et à la quantité importante d'air insufflé dans le réacteur ;
- et, une bonne aptitude de la boue à la décantation (IB de l'ordre de 80 ml/g de MES).

Sur des ouvrages bien optimisés, les consignes d'exploitation sont relativement limitées, à l'exception :

- de la connaissance indispensable de la charge apportée par le déchet grasseux ;
- de la dilution du produit à injecter, fonction de la concentration en MVS dans le réacteur et de la production de boue ;
- de la complémentation en nutriments, dépendant de la charge apportée.

En l'absence d'exploitation, des dysfonctionnements importants peuvent apparaître en particulier le développement d'un moussage élevé entraînant d'énormes contraintes en personnel et s'accompagnant de performances de traitement faibles.

Cet ouvrage propose ainsi un certain nombre de consignes d'exploitation pour un fonctionnement fiable et optimisé de ces systèmes.

LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

AGENCE DE L'EAU SEINE-NORMANDIE (AESN), *Étude bibliographique sur la caractérisation et les procédés de traitement des produits de curage et des graisses*, novembre 1994.

AGENCE NATIONALE POUR LA RÉCUPÉRATION ET L'ÉLIMINATION DES DÉCHETS (ANRED), *Colloque : la collecte et l'élimination des déchets gras*, Paris, les 15, 16 et 17 novembre 1989, 347 p.

APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association), WPCF (Water Pollution Control Federation), *Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 1985 (16^e édition), p. 496-503.

BETURE-CEREC, AGENCE DE L'EAU LOIRE-BRETAGNE, *Étude technico-économique des différentes filières de traitement des graisses*, Rapport de synthèse, Décembre 1996, 54 p.

BIAS J.Y., RICHARD E., « La dégradation des graisses en phase aqueuse par voie biologique aérobie », *L'eau, l'industrie, les nuisances*, n° 175, 1994, p. 48-50.

BONNARD R., CAUCHI B., BOURBIGOT M.G. *et al.*, « Les traitements des graisses des stations d'épuration », *Courants*, n° 18, novembre-décembre 1992, p. 26-32.

BOULANT A., « Ne plus traiter la graisse comme de l'eau », *Courants*, n° 162, décembre 1996, p. 47-49.

BRIDOUX G., HULSTER P., MANEM J., « Analyse des graisses dans les stations d'épuration », *TSM (Techniques, sciences et méthodes)*, n° 5, mai 1994, p. 257-262.

BRIDOUX Gilbert, « Bilan des graisses dans les stations d'épuration. Élimination des résidus gras par voie aérobie », Thèse présentée pour l'obtention du grade de docteur de l'université de technologie de Compiègne, 1992, 166 p.

Cemagref, Paris, division Qualité des eaux, *Mesures d'oxygénation en boues sur le Biomaster à la station d'épuration de Dreux (27)*, 29 juillet 1997, 8 p.

Cemagref, Qualité des Eaux, Pêche et Pisciculture, *Les dégraisseurs des stations d'épuration, approche des performances réelles et éléments de conception*, octobre 1981, 22 p.

CHAPPE P., MOUREY A., MANEM J., « La microflore de boues aérobies acclimatées à des teneurs élevées en graisses », *Revue des Sciences de l'Eau*, n° 7, 1994, p. 395-404.

CTGREF, Antony, division Qualité des Eaux, *L'efficacité des dégraisseurs dans les stations d'épuration des communes rurales. Approche méthodologique (Étude n° 43)*, août 1979, 131 p.

DUCHENE Ph., L'efficacité des dégraisseurs de stations d'épuration. Premiers résultats. *Tribune Cebedeau* (Cebedoc Éditeur, Liège, Belgique), n° 444, 1980, p. 489-496.

ENTRESSANGLES B., ZWOBADA F., « Lipides et santé. Quelles vérités? », *LESIEUR (Informations aux Médecins)*, 1987, Chapitre 1, *Des acides gras aux matières grasses alimentaires*, p. 2-23.

FARRINGTON J., QUINN J., « Petroleum Hydrocarbons and Fatty Acids in Wastewater Effluents », *Journal WPCF (Water Pollution Control Federation)*, Vol. 45, n° 4, avril 1973, p. 704-711.

GIS MOUSSES, *Guide de lutte contre les mousses biologiques stables dans les stations d'épuration à boues activées*, document technique FNDAE hors série, octobre 1993.

GRULOIS Ph., ALRIC G., BROCHON J.P. *et al.*, « L'élimination des graisses par traitement biologique aérobie », *TSM*, n° 5, mai 1993, p. 247-251.

- GRULOIS Ph., ALRIC G., MANEM J. *et al.*, « Biomaster G, traitement biologique aérobie des graisses », *Tribune de l'eau*, volume 50, n° 586/2, mars-avril 1997, p. 21-29.
- HELAINÉ D., LABATUT S., « Le traitement des résidus alimentaires gras : quelles techniques pour quels objectifs? », *L'eau, l'industrie, les nuisances*, n° 179, 1995, p. 33-37 (a).
- HELAINÉ D., ROBINO T., LABATUT S., « Un nouveau concept de traitement et de valorisation des déchets gras alimentaires », *TSM*, n° 7-8, juillet-août 1995, p. 575-579 (b).
- HSU T., HANAKI K., MATSUMOTO J., « Kinetics of Hydrolysis, Oxidation, and Adsorption during Olive Oil Degradation by Activated Sludge », *Biotechnology and Bioengineering*, Vol. XXV, 1983, p. 1829-1839.
- HUNTER J.V., HEUKELEKIAN H., « The Composition of Domestic Sewage Fractions », *Journal WPCF (Water Pollution Control Federation)*, Vol. 37, n° 8, août 1965, p. 142-1163.
- INSTITUT DE RECHERCHES HYDROLOGIQUES, *Étude comparative des différentes méthodes de dosage des matières huileuses*, décembre 1979, 60 p.
- JÉAMPIERRE R., *Traitement des graisses par voie biologique aérobie thermophile. Développement et suivi de l'unité pilote Lipoflux*, Mémoire de 3^e année à l'ENGEES (École nationale du génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg), mai 1995, 90 p. (+ annexes).
- KALLEL M., MALESIEUX G., GOUSAILLES M. *et al.*, « Bioélimination des déchets gras après saponification » *TSM*, n° 11, novembre 1994, p. 619-623.
- KALLEL M., VEDRY B., LETOLLE R. *et al.*, « Efficacité des stations d'épuration dans la dégradation des graisses », *TSM*, n° 3, mars 1990, p. 145-151.
- KRAMER G., « Hydrolysis of lipids in Wastewater », *Journal of the Sanitary Engineering Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, SA5, octobre 1971, p. 731-744.
- LARPENT J.P., LARPENT-GOURGAUD M., *Mémento technique de microbiologie* (deuxième édition), Technique et documentation Lavoisier, 1990, 417 p.
- LOEHR R., DE NAVARRA C., « Grease Removal at a Municipal Treatment Facility », *Journal WPCF (Water Pollution Control Federation)*, Vol. 41, n° 5, mai 1969, p. R142-R154.
- MAES M., « Les graisses de stations d'épuration, première partie : les données (a) », *L'eau, l'industrie, les nuisances*, n° 177, 1994, p. 37-40.
- MAES M., « Les graisses de stations d'épuration, deuxième partie (b) », *L'eau, l'industrie, les nuisances*, n° 178, 1994, p. 25-28.
- MAILLET I., *Le traitement biologique des graisses*, Département technique OTV, avril 1994.
- MAILLET I., « Le traitement des déchets gras. État des moyens proposés et étude d'une solution privilégiée, le Biolix », *Tribune de l'eau*, volume 50, n° 586/2, mars-avril 1997, p. 15-20.
- MAYES P., *Précis de biochimie de Harper*, Les presses de l'université Laval, Éditions ESKA, Québec, Paris, 1985, Chapitres 14, « Cycle de l'acide citrique », p. 173-181), 16 « Lipides », p. 212-226) et 17 « Métabolisme des lipides : I. Acides gras », p. 227-252)
- PIERSON M., CHAMBON P., VIAL J., "Inventaire des lipides et leur élimination au niveau de différents types de stations d'épuration de petite capacité", *Water Research*, Vol. 14, 1980, p. 1313-1316.
- RODWELL V., *Précis de biochimie de Harper*, Les presses de l'université Laval, Éditions ESKA, Québec, Paris, 1985, Chapitre 6, « Propriétés générales des enzymes », p. 58-71.
- SALOME C., BONVALLOT J.F., « Dégradation des graisses par bioadditif. Perspectives » *TSM*, n° 9, septembre 1990, p. 421-429.

THONARD P., DESTAIN J., ANTOINE P. *et al.*, « La problématique de la matière grasse : aspect théorique » *Tribune de l'eau*, volume 50, n° 586/2, mars-avril 1997, p. 3-9.

TSCHOCKE C., « Les graisses des stations d'épuration et leur traitement », *L'eau, l'industrie, les nuisances*, n° 181, 1995, p. 40-41.

VIRLOGET F., *Traitement des eaux usées urbaines*, tome 1 (cours ENGEES), 1996, Chapitre 6, Prétraitement, p. 100-117.

VOTO L., *Caractérisation et biodégradabilité de la matière organique d'eaux résiduaires*, Rapport de stage au Cemagref effectué du 16 juin au 12 septembre 1997, 154 p.



LISTE DES ANNEXES

50

Annexe I – Caractéristiques des corps gras

- Annexe I-1 – Composition moyenne en acides gras de quelques corps gras
- Annexe I-2 – Liste d'acides gras et leur point de fusion

Annexe II – Aspects analytiques

- Annexe II-1 – Protocole opératoire
- Annexe II-2 – Protocole de dosage de la DCO sur le déchet grassex
- Annexe II-3 – Protocole de dosage des lipides
 - Méthode de dosage par spectrophotométrie indice CH_2
- Annexe II-4 – Tableau comparatif du dosage des lipides
 - Comparaison de quatre solvants et de deux méthodes d'extraction

Annexe III – Approche du coefficient de transfert global dans les milieux riches en lipides

Annexe IV – Estimation des besoins en oxygène

Annexe V – Exemple de dimensionnement d'un réacteur de traitement biologique des graisses issues d'un dégraisseur raclé traitant des effluents à dominante domestique

Annexe I-2. Liste d'acide gras et point de fusion de quelques corps gras

Acides gras saturés et insaturés : dénomination, point de fusion et solubilité

Nombre d'atomes de carbone	Formule simplifiée	Appellation commune	Dénomination chimique	Point de fusion (en °C)	Solubilité dans l'eau, à 20°C (en gr d'acide/100 g d'eau)
4	C4:0	Butyrique	Butanoïque		
6	C6:0	Caproïque	Hexanoïque	-3,2	0,96800
8	C8:0	Caprylique	Octanoïque	16,3	0,06800
10	C10:0	Caprique	Décanoïque	30,9	0,01500
12	C12:0	Laurique	Dodécanoïque	44,0	0,00550
14	C14:0	Myristique	Tétradécanoïque	53,8	0,00200
16	C16:0	Palmitique	Hexadécanoïque		
	C16:1 (n-7)	Palmitoléique	9-hexadécanoïque	62,7	0,00072
18	C18:0	Stéarique	Octadécanoïque	69,6	0,00029
	C18:1 (n-9)	Oleïque	9-Octadécanoïque	13 pour le cis et 44 pour le trans	
	C18:2 (n-6)	Linoléique	9,12-Octadécanoïque	pour le cis : -5	
	C18:3 (n-6)	γ-linoléique	6, 9, 12-Octadécanoïque		
	C18:3 (n-3)	α-linoléique	9, 12, 15-Octadécanoïque		
20	C20:0	Arachidique	Eicosanoïque		
	C20:1 (n-9)	Gadoléique	11-Eicosanoïque		
	C20:3 (n-6)	Dihomo-γ linoléique	8, 11, 14-Eicosatriénoïque		
	C20:3 (n-9)		5, 8, 11-Eicosatriénoïque		
	C20:4 (n-6)	Arachidonique	5, 8, 11, 14-Eicosatétratriénoïque		
	C20:5 (n-3)		5, 8, 11, 14, 17-Eicosapentaénoïque		
22	C22:0	Béhénique	Docosénoïque		
	C22:1 (n-9)	Erucique	13-docosénoïque		
	C22:4 (n-6)		7, 10, 13, 16-docosatétratriénoïque		
	C22:5 (n-6)		4, 7, 10, 13, 16-docosapentaénoïque		
	C22:5 (n-3)		7, 10, 13, 16, 19-docosapentaénoïque		
	C22:6 (n-3)		4, 7, 10, 13, 16, 19-docosahéxaénoïque		
24	C24:0	Lignocérique	Tétracosanoïque		
	C24:1 (n-9)	Nervonique	15-tétracosanoïque		

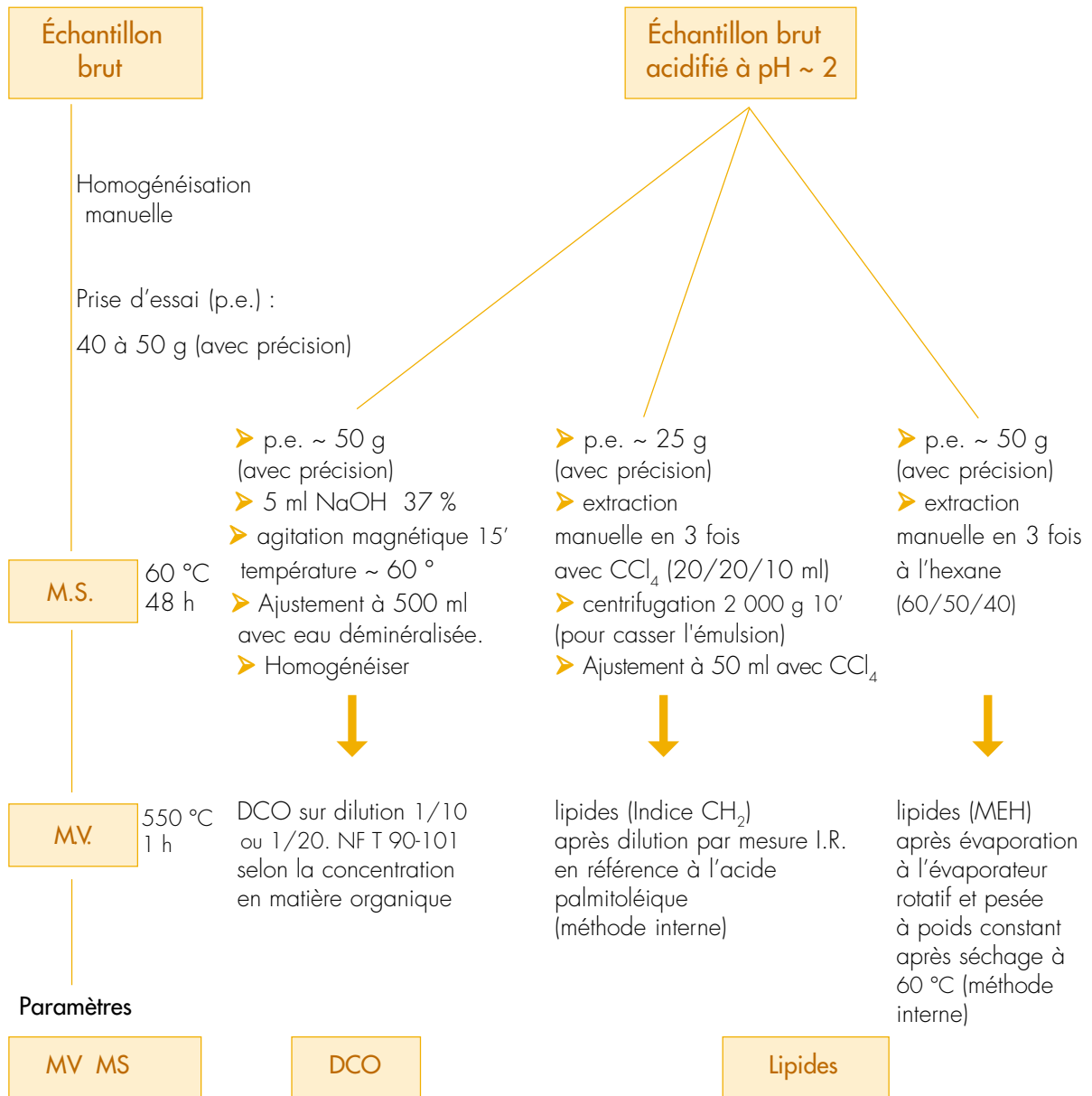
Sources : Entressangles (1981) et Ralston et Hoerr (1942 – The solubilities of normal saturated fatty acids)

Point ou zone de fusion de quelques corps gras

Corps gras	Point ou zone de fusion (° C)
Tripalmitine	66
Tristéarine	72
Saindoux	32 - 38
Graisse d'os	39 - 41
Beurre de cacao	31 - 35
Beurre	32 - 36

Source : Thonard, 1997.

Annexe II-1. Protocole opératoire



Annexe II-2. Protocole de dosage de la DCO sur le déchet graisseux

➤ Contexte

La mesure de la DCO (Demande chimique en oxygène) selon la norme NF T 90-101 sur des échantillons d'eaux résiduaires à caractère graisseux très marqué n'est pas adapté en raison du caractère hétérogène des échantillons et des propriétés hydrophobes des graisses. Les résultats obtenus sont peu reproductibles et sont loin de correspondre à la stœchiométrie de la réaction d'oxydation. En général, les lipides sont constitués par des acides gras à longues chaînes (C15 à C20) et par des triglycérides correspondants.

En se plaçant en milieu alcalin (pH > 13) au moyen de soude, les résultats obtenus sont représentatifs grâce à la solubilité accrue du produit facilitant la prise d'échantillon.

➤ Principe

Les lipides sont constitués en général par des acides gras à longues chaînes et par leurs homologues estérifiés (triglycérides). En milieu fortement basique, les triglycérides sont saponifiés pour donner de la glycérine et des sels d'acides gras. Quant aux acides gras initialement présents, ils sont transformés directement en sels d'acides gras. Les produits ainsi obtenus sont relativement solubles dans l'eau ce qui confère alors à l'échantillon un caractère beaucoup plus homogène. L'absence de perte ou d'apport de matière organique au cours de l'alcalinisation permet le dosage de la DCO sur un échantillon très nettement homogénéisé.

➤ Mode opératoire

- peser avec précision un bêcher en verre de 100 ml : Po ;
- introduire dans ce bêcher 20 à 40 g d'échantillon homogénéisé, acidifié et préalablement broyé ;
- peser avec précision le bêcher avec la prise d'essai : P1 ;
- introduire sous agitation environ : 20 ml d'eau déminéralisée ; 5 ml de soude 37 % ;
- maintenir agité durant 15 minutes en chauffant légèrement à 60 °C ;
- ajuster avec de l'eau déminéralisée à 500 ml dans une fiole jaugée et mélanger : V = 500 ml
- diluer au 1/10 ou au 1/20 selon la concentration de départ (α = facteur de dilution) et effectuer le dosage de la DCO avec son prélèvement à la fiole de 50 ml.

➤ Calcul

La DCO du déchet graisseux est exprimée en g ou mg de DCO/kg de déchet graisseux.

$$\text{Formule : } [\text{DCO}] \text{ dg} = \text{DCO mesuré} \times \frac{1\ 000}{\text{P1} - \text{P0}} \times \frac{V = 500}{1\ 000} \times \alpha$$

$\text{P1} - \text{P0}$
(en g ou mg)

expression pour ramener en kg de déchet graisseux

expression pour ramener en litres

facteur de dilution (10 ou 20)

Annexe II-3. Protocole de dosage des lipides

Méthode par spectrophotométrie infrarouge (« indice CH_2 »)

➤ Principe

Les lipides d'un échantillon acidifié à pH voisin de 2 sont extraits par du tétrachlorure de carbone pur pour spectrophotométrie infrarouge. La densité optique, qui est proportionnelle à la concentration en substances extractibles, est alors mesurée au nombre d'ondes voisin de $2\,927\text{ cm}^{-1}$. Ce nombre d'ondes correspond à la vibration de valence de la liaison CH_2 .

La teneur éventuelle en hydrocarbures de l'échantillon est prise en compte en éluant l'extrait sur une colonne de Florisil 60-100 mesh puis en mesurant de nouveau l'absorbance au même nombre d'ondes de l'extrait purifié. La différence des deux absorbances mesurées à la même dilution avant et après élution correspond à l'absorbance due à la quantité de lipides. Dans ce cas, on entend par hydrocarbures les produits hydrocarbonés extractibles par le tétrachlorure de carbone en milieu acide non retenus sur l'agent adsorbant et donnant un maximum d'absorbance dans la région de $2\,920\text{ cm}^{-1}$ (Norme NF T90-203). Ces concentrations sont exprimées en mg par litre d'échantillon.

➤ Réactifs

- acide sulfurique 50 % en volume ;
- sulfate de sodium anhydre pur à 97 % ;
- tétrachlorure de carbone pour UV, IR ;
- Florisil 60/100 mesh activé à $600\text{ }^\circ\text{C}$ durant 1 h ;

56

➤ Matériel

- ampoules à décanter ;
- pH mètre équipé d'une électrode de verre ;
- agitateur magnétique ;
- centrifugeuse pouvant atteindre une accélération de $2\,000\text{ g}$;
- spectrophotomètre infrarouge ;
- cuve infrasil $4 \times 1\text{ cm}$;
- colonnes à élution ;
- verrerie courante de laboratoire.

➤ Mode opératoire

EXTRACTION

Dans une ampoule à décanter (cf. remarque n° 1), introduire :

- la prise d'essai de l'échantillon à analyser bien homogénéisée comprise entre 200 et 500 ml (pour une eau résiduaire) selon la teneur présumée en graisses. Pour un échantillon de déchet graisseux, la prise d'essai est exprimée en masse et une dilution est nécessaire ;

- 2,5 ml d' H_2SO_4 50 % ;

- 20 ml de tétrachlorure de carbone préalablement purifié (cf. remarque n° 2) ;

➤ Extraire en agitant manuellement l'ampoule à décanter pendant 3 minutes. Équilibrer de temps en temps la pression interne de l'ampoule avec l'extérieur en ouvrant son robinet dirigé vers le haut.

➤ Laisser décanter durant 15 minutes. L'extrait est situé au dessous. Si une émulsion se présente, la rompre par centrifugation à $2\,000\text{ g}$ pendant 10 minutes en employant des tubes en verre (cf. remarque n° 3). Après centrifugation verser le contenu du tube dans l'ampoule correspondante.

➤ Recueillir le premier extrait dans une fiole jaugée propre et sèche de 50 ml en le filtrant sur de la laine de verre disposée dans un entonnoir en verre. Si l'émulsion n'a pas été totalement brisée, recouvrir la laine de verre de quelques grammes de sulfate de sodium anhydre.

➤ Procéder de la même façon pour deux autres extractions en employant respectivement 20 et 10 ml de CCl_4 et en agitant respectivement durant deux et une minutes. Puis en rinçant la laine de verre avec du tétrachlorure de carbone purifié, ajuster au volume de la fiole.

ANALYSE

➤ Mesurer au spectrophotomètre infrarouge la teneur en lipides de l'extrait. Si le résultat obtenu dépasse la zone de linéarité de la courbe d'étalonnage, diluer convenablement l'extrait du tétrachlorure de carbone purifié de manière à obtenir une concentration comprise entre 50 et 120 mg/l d'indice CH_2 dans le CCl_4 . En général, la limite de linéarité de dosage dans CCl_4 se situe vers 120 mg de lipides par litre de CCl_4 .

➤ Le résultat obtenu prend en compte l'ensemble des substances extraites au CCl_4 dont les hydrocarbures. Ceux-ci peuvent être dosés en procédant de la façon suivante :

Préparer une colonne en introduisant dans l'ordre :

- 1 g de sulfate de sodium anhydre ;
- 10 ml de CCl_4 pur ;
- 5 g de Florisil par petites doses afin d'éviter la formation d'un bouchon ;
- 1 g de sulfate de sodium anhydre.

Tasser le contenu de la colonne par chocs successifs d'une tige en plastique sur cette colonne de manière à éliminer les bulles d'air.

➤ Éluer 10 ml de CCl_4 préalablement purifié (pour rincer la colonne).

➤ Éluer de nouveau 10 ml de CCl_4 purifié et mesurer au spectrophotomètre IR l'absorbance à 2927 cm^{-1} . Si cette absorbance est inférieure à 0,005U de densité optique, on peut alors procéder à l'élution de l'extrait à analyser.

➤ La différence entre les deux absorbances mesurées à 2927 cm^{-1} , avant et après élution, en tenant compte de la dilution de l'extrait, permet de déterminer la teneur en lipides de l'extrait.

EXPRESSION DE RÉSULTATS

➤ En déduire la teneur en graisses de l'échantillon à partir de l'expression suivante :

$$C_{\text{échantillon}} (\text{mg/l}) = \text{Concentration extrait (mg/l)} \times [\text{Volume d'extrait (ml)}/\text{Prise d'essai (ml)}]$$

➤ La concentration dans l'extrait exprimée en mg d'étalon par litre d'extrait est directement calculée par le logiciel du spectrophotomètre infrarouge Nicolet.

REMARQUES

1 – Préparation des ampoules à décanter : afin d'éliminer toute trace de matière organique, les ampoules à décanter préalablement lavées en machine à $80\text{ }^\circ\text{C}$, séchées, sont rincées au moyen de 10 ml de CCl_4 purifié avant leur utilisation.

2 – Le tétrachlorure de carbone est fraîchement purifié par passage dans une ampoule à décanter remplie de Florisil jusqu'à la partie sphérique.

3 – Lors de la centrifugation, il est nécessaire que les tubes de masse égale soient diamétralement opposés.

4 – Afin de s'assurer de l'efficacité de l'adsorbant, il est vérifié l'absence de composés estérifiés (pic d'absorption vers 1730 cm^{-1}) et de composés acides (pic d'absorption vers 1700 cm^{-1}).

Annexe II-4. Tableau comparatif du dosage des lipides – Comparaison de quatre solvants et de deux méthodes d'extraction

Solvants	Chloroforme CHCl ₃	Hexane (contenant du n-hexane) C ₆ H ₁₄	Fréon 113 (1,1,2-Trichloro- 1, 2, 2, -trifluoréthane)	Tétrachlorure de carbone CCl ₄
Pouvoir extractant (classement à partir d'analyses sur des eaux brutes)	1 ^{er} (avec méthode gravimétrique)	3 ^e (méthode gravimétrique ; - 35 % par rapport à CHCl ₃)		2 ^e en IR (environ 10 % de moins qu'avec CHCl ₃)
Solubilité dans l'eau (elle doit être faible)	0,8 % en poids à 20 °C	0,014 %	0,017 % en poids à 25 °C	0,08 % en poids à 25 °C
Volatilité (éther =1) (pour la méthode gravimétrique, elle doit être assez grande)	2,5	2	4,25	3
Point d'ébullition (pour la méthode gravimétrique, il doit être bas)	61,3 °C à Pa	68,7 °C à Pa pour le n-hexane	47,6 °C à Pa	76,8 °C à Pa
Inflammabilité	Ininflammable et inexplorable dans les conditions normales d'utilisation	Très inflammable	Ininflammable et inexplorable dans les conditions normales d'utilisation	Ininflammable et inexplorable
Toxicité	Xn Nocif en cas d'ingestion ; irritant pour la peau ; possibilité d'effets irréversibles	Xn F Nocif : risques d'effets graves pour la santé en cas d'exposi- sition prolongée par inhalation	Faible mais toxicité des produits libérés lors de sa décomposi- tion thermique	T N Toxique par inhalation, con- tact dermique et ingestion Effets irréversibles possibles
Valeur limite d'exposition	55 ppm soit 250 mg/m ³		1 250 ppm (9 500 mg/m ³)	10 ppm (60 mg/m ³)
Valeur limite moyenne d'exposition	5 ppm soit 25 mg/m ³	n-hexane : 50 ppm (170 mg/m ³)	1 000 ppm (7 600 mg/m ³)	2 ppm (12 mg/m ³)
Méthode gravimétrique (extraction, évaporation/séchage, pesée)	Limite de détection : 20 mg/l. Ne peut donc pas s'utiliser pour les eaux de sortie. Pertes par évaporation. Mesure assez longue. Il est préférable d'utiliser une hotte aspirante.			
		Problèmes de récupération de la phase organique (hexane moins dense que l'eau)		
Méthode spectrophotométrique infrarouge (extraction, mesure de l'absorbance à 2 927 cm ⁻¹ , comparaison avec un étalon, ici l'acide palmitoléique)	Ne peuvent pas être utilisés pour cette méthode.		Le solvant utilisé doit être transparent. Linéarité jusqu'à 120 mg/l. Pas d'évaporation donc pas de pertes par évaporation. Limite de détection : 0,2 mg/l. Prend en compte tous les acides gras (jusqu'aux premiers termes)	

Annexe III. Approche du coefficient de transfert global (CTG) dans les milieux riches en lipides

Apport horaire en boues $AH' = KLa' \times (C's - C) \times V$

Apport horaire standard (en eau claire) $AH = KLa \times C_s \times V$

Avec : V : volume du réacteur

KLa : coefficient de transfert avec KLa en eau
et KLa' en boue $KLa' / KLa = \alpha$

C_s : saturation de l'oxygène dans l'eau avec C_s pour l'eau et
 $C's$ pour la boue

$C's / C_s = \beta = 0,97$ à $0,98$ donc négligeable

C : concentration en oxygène dans le milieu

$$D'où \quad AH' / AH = \alpha \times (\beta C_s - C) / C_s$$

Avec : $\alpha = 0,65$ pour l'insufflation d'air fines bulles ; $\beta = 0,97$; C_s = dépend de la hauteur d'eau ; $C =$ de l'ordre de $2,5$ mg/l.
Cette valeur est élevée en raison du milieu spécifique (réponse de la sonde : graisse adsorbée sur la membrane).

Lors du suivi des différents réacteurs, la teneur en O_2 dissous était élevée (de l'ordre de 5 mg d' O_2 /l), cette valeur importante pénalisant le CTG. Les constructeurs préconisent de travailler à de fortes concentrations en O_2 pour éviter des sous-aérations dues à la réponse de la sonde et à la difficulté de transfert à l'intérieur du floc.

HYPOTHÈSES RETENUES

- Hauteur d'eau = 5 m ;

- C_s à $20^\circ = 9,08 \approx 9,1$;

- C_s à $30^\circ = 7,55$ (température courante dans ces réacteurs).

- Surpression moyenne liée à la hauteur d'eau au-dessus des diffuseurs = $2/5$ (entre $1/4$ et $1/2$) de la hauteur d'eau = 2 m = 196 Hpa.

59

POUR UNE TEMPÉRATURE DE 20°

$C_{s_{20^\circ}}$ à 1209 Hpa (1013 Hpa + 196 Hpa) = $9,1 \times 1209/1013 = 10,86$ mg d' O_2

D'où $CTG = AH'/AH = 0,65 \times (0,97 \times 10,86 - 2,5) / 10,86 = 0,49$;

$AH = AH'/0,49$ ou $AH = 2,04 \times AH'$

POUR UNE TEMPÉRATURE DE 30°

$C_{s_{30^\circ}}$ à 1209 Hpa (1013 Hpa + 196 Hpa) = $7,55 \times 1209/1013 = 9,01$ mg d' O_2

D'où $CTG = AH'/AH = 0,65 \times (0,97 \times 9,01 - 2,5) / 9,01 = 0,45$;

$AH = AH'/0,45$ ou $AH = 2,22 \times AH'$

On retiendra, en l'absence d'informations plus précises, un CTG de $0,45$
soit $AH = AH'/0,45 = 2,22 \times AH'$

CALCUL DU DÉBIT D'AIR À INJECTER

Hypothèses : rendement d'oxygénation (RO) est égal à :

> 4 % par mètre d'eau au-dessus des diffuseurs et sans agitation soit 20 % (5 m \times $0,4$)

Ou à > 6 % par mètre d'eau au-dessus des diffuseurs et avec agitation soit 30 % (5 m \times $0,6$)

$$RO = AH / Q \times X$$

$$D'où \quad Q \text{ à injecter} = AH / X \times RO$$

X correspond à la quantité d' O_2 contenue dans 1 m³ d'air (et dépend donc de la température et de la pression comme le montre le tableau suivant)

MASSE D'OXYGÈNE EN GRAMMES CONTENUE DANS 1 M³ D'AIR EN FONCTION DE LA PRESSION (hPa) ET DE LA TEMPÉRATURE * (°C)

°C \ hPa	850	860	870	880	890	900	910	920	930	940	950	960	970	980	990	1000	1010	1013	1020	1030	1040	1050
0	251.7	254.7	257.7	260.6	263.6	266.5	269.5	272.5	275.4	278.4	281.3	284.3	287.3	290.2	293.2	296.2	299.1	300.0	302.1	305.0	308.0	311.0
1	250.8	253.8	256.7	259.7	262.6	265.6	268.5	271.5	275.4	277.4	280.3	283.3	286.2	289.2	292.1	295.1	298.0	298.9	301.0	303.9	306.9	309.8
2	249.9	252.8	255.8	258.7	261.7	264.6	267.5	270.5	273.4	276.4	279.3	282.2	285.2	288.1	291.1	294.0	296.9	297.8	299.9	302.8	305.8	308.7
3	249.0	251.9	254.8	257.8	260.7	263.6	266.6	269.5	272.4	275.4	278.3	281.2	284.1	287.1	290.0	292.9	295.9	296.7	298.8	301.7	304.6	307.6
4	248.1	251.0	253.9	256.8	259.8	262.7	265.6	268.5	271.4	274.4	277.3	280.2	283.1	286.0	289.0	291.9	294.8	295.7	297.7	300.6	303.5	306.5
5	247.2	250.1	253.0	255.9	258.8	261.7	264.6	267.6	270.5	273.4	276.3	279.2	282.1	285.0	287.9	290.8	293.7	294.6	296.6	299.5	302.5	305.4
6	246.3	249.2	252.1	255.0	257.9	260.8	263.7	266.6	269.5	272.4	275.3	278.2	281.1	284.0	286.9	289.8	292.7	293.5	295.6	298.5	301.4	304.3
7	245.4	248.3	251.2	254.1	257.0	259.9	262.8	265.6	268.5	271.4	274.3	277.2	280.1	283.0	285.9	288.7	291.6	292.5	294.5	297.4	300.3	303.2
8	244.6	247.4	250.3	253.2	256.1	258.9	261.8	264.7	267.6	270.5	273.3	276.2	279.1	282.0	284.8	287.7	290.6	291.5	293.5	296.4	299.2	302.1
9	243.7	246.6	249.4	252.2	255.2	258.0	260.9	263.8	266.6	269.5	272.4	275.2	278.1	281.0	283.8	286.7	289.6	290.4	292.4	295.3	298.2	301.0
10	242.8	245.7	248.4	252.3	254.3	257.1	260.0	262.8	265.7	268.5	271.4	274.3	277.1	280.0	282.8	285.7	288.5	289.4	291.4	294.3	297.1	300.0
11	242.0	244.8	247.7	251.4	253.4	256.2	259.1	261.9	264.8	267.6	270.4	273.3	276.1	279.0	281.8	284.7	287.5	288.4	290.4	293.2	296.1	298.9
12	241.1	244.0	246.8	250.5	252.5	255.3	258.1	261.0	263.8	266.7	269.5	272.3	275.2	278.0	280.8	283.7	286.5	287.4	289.4	292.2	295.0	297.9
13	240.3	243.1	245.9	249.6	251.6	254.4	257.2	260.1	262.9	265.7	268.6	271.4	274.2	277.0	279.9	282.7	285.5	286.4	288.3	291.2	294.0	296.8
14	239.4	242.3	245.1	248.8	250.7	253.5	256.4	259.2	262.0	264.8	267.6	270.4	273.3	276.1	278.9	281.7	284.5	285.4	287.3	290.2	293.0	295.8
15	268.6	241.4	244.2	247.9	249.8	252.7	255.5	258.3	261.1	263.9	266.7	269.5	272.3	275.1	277.9	280.7	283.5	284.4	286.3	289.1	292.0	294.8
16	237.8	240.6	243.4	247.0	249.0	251.8	254.6	257.4	260.2	263.0	265.8	268.6	271.4	274.2	277.0	279.8	282.6	283.4	285.3	288.1	290.9	293.7
17	237.0	269.8	242.5	246.2	248.1	250.9	253.7	256.5	259.3	262.1	264.9	267.6	270.4	273.2	276.0	278.8	281.6	282.4	284.4	287.2	289.9	292.7
18	236.2	238.9	241.7	245.3	247.3	250.0	252.8	255.6	258.4	261.2	263.9	266.7	269.5	272.3	275.1	277.8	280.6	281.4	283.4	286.2	288.9	291.7
19	235.3	238.1	240.9	244.5	246.4	249.2	252.0	254.7	257.5	260.3	263.0	265.8	268.6	271.3	274.1	276.9	279.6	280.5	282.4	285.2	288.0	290.7
20	234.5	237.3	240.1	243.7	245.6	248.3	251.1	253.9	256.6	259.4	262.1	264.9	267.7	270.4	273.2	275.9	278.7	279.5	281.5	284.2	287.0	289.7
21	233.7	236.5	239.2	242.8	244.7	247.5	250.2	253.0	255.7	258.5	261.2	264.0	266.7	269.5	272.2	275.0	277.7	278.6	280.5	283.2	286.0	288.7
22	233.0	235.7	238.4	242.0	243.9	246.7	249.4	252.1	254.9	257.6	260.4	263.1	265.8	268.6	271.3	274.1	276.8	277.6	279.5	282.3	285.0	287.8
23	232.2	234.9	237.6	241.2	243.1	245.8	248.6	251.3	254.0	256.8	259.5	262.2	264.9	267.7	270.4	273.1	275.9	276.7	278.6	281.3	284.1	286.8
24	231.4	234.1	236.8	240.4	242.3	245.0	247.7	250.4	253.2	255.9	258.6	261.3	264.1	266.8	269.5	272.2	274.9	275.8	277.7	280.4	283.1	285.8
25	230.6	233.3	236.0	239.6	241.5	244.2	246.9	249.6	252.3	255.0	257.7	260.5	263.2	265.9	268.6	271.3	274.0	274.8	276.7	279.4	282.2	284.9
26	229.8	232.5	235.2	238.7	240.7	243.4	246.1	248.8	251.5	254.2	256.9	259.6	262.3	265.0	267.7	270.4	273.1	273.9	275.8	278.5	281.2	283.9
27	229.1	231.8	234.5	238.0	239.9	242.5	245.2	247.9	250.6	253.3	256.0	258.7	261.4	264.1	266.8	269.5	272.2	273.0	274.9	277.6	280.3	283.0
28	228.3	231.0	233.7	237.2	239.1	241.7	244.4	247.1	249.8	252.5	255.2	257.9	260.5	263.2	265.9	268.6	271.3	272.1	274.0	276.7	279.3	282.0
29	227.6	230.2	232.9	236.4	238.3	240.9	243.6	246.3	249.0	251.6	254.3	257.0	259.7	262.4	265.0	267.7	270.4	271.2	273.1	275.7	278.4	281.1
30	226.8	229.5	232.1	235.6	237.5	240.1	242.8	245.5	248.2	250.8	253.5	256.2	258.8	261.5	264.2	266.8	269.5	270.3	272.2	274.8	277.5	280.2
31	226.1	228.7	231.4	234.8	236.7	239.4	242.0	244.7	247.3	250.0	252.7	255.3	258.0	260.6	263.3	266.0	268.6	269.4	271.3	273.9	276.6	279.2
32	225.3	228.0	230.6	234.0	235.9	238.6	241.0	243.9	246.5	249.2	251.8	254.5	257.1	259.8	262.4	265.1	267.7	268.5	270.4	273.0	275.7	278.3
33	224.6	227.2	229.9	233.3	235.1	237.8	240.4	243.1	245.7	248.4	251.0	253.6	256.3	258.9	261.6	264.2	266.9	267.6	269.5	272.1	274.8	277.4
34	223.1	226.5	229.1	231.7	234.4	237.0	239.7	242.3	244.9	247.6	250.2	252.8	255.5	258.1	260.7	263.4	266.0	266.8	268.6	271.3	273.9	276.5
35	222.4	225.7	228.4	231.0	233.6	236.2	238.9	241.5	244.1	246.7	249.4	252.0	254.6	257.2	259.9	262.5	265.1	265.9	267.7	270.4	273.0	275.6
36	221.7	225.0	227.6	230.2	232.9	235.5	238.1	240.7	243.3	245.9	248.6	251.2	253.8	256.4	259.0	261.6	264.3	265.0	266.9	269.5	272.1	274.7
37	221.0	224.3	226.9	229.5	232.1	234.7	237.3	239.9	242.5	245.2	247.8	250.4	253.0	255.6	258.2	260.8	263.4	264.2	266.0	268.6	271.2	273.8
38	220.3	223.6	226.2	228.8	231.4	234.0	236.6	239.2	241.8	244.4	247.0	249.6	252.2	254.8	257.4	260.0	262.6	263.3	265.2	267.8	270.4	273.0
39	219.6	222.9	225.4	228.0	230.6	233.2	235.8	238.4	241.0	243.6	246.2	248.8	251.4	253.9	256.5	259.1	261.7	262.5	264.3	266.9	269.5	272.1
40	219.6	222.1	224.7	227.3	229.9	232.5	235.1	237.6	240.2	242.8	245.4	248.0	250.6	253.1	255.7	259.3	260.9	261.7	263.5	266.1	268.6	271.2

* Les corrections de température se font en °K c'est à dire avec 273 + t où t est la température exprimée en °C

Annexe IV. Estimation des besoins en oxygène

Dans ces réacteurs, on peut estimer la demande en oxygène à partir de la formule d'Eckenfelder :

$$\text{Besoins en } O_2 = a' L_e + b' S_v'$$

Cette formule correspond à la consommation d'oxygène liée à l'oxydation de la matière organique et au métabolisme endogène de la biomasse.

Avec : O_2 : quantité d'oxygène à apporter par jour et par kg de DCO (en kg/j),

a' : quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation d'un kg de DCO (en kg),

b' : quantité journalière d'oxygène nécessaire au métabolisme endogène d'un kg de MVS' (en kg/j),

S_v' : masse de MVS' nécessaire au traitement d'un kg de DCO par jour d'où $S_v = 1/C_m'$,

L_e : quantité de DCO du déchet grassey à éliminer (en kg).

Hypothèses de calcul :

Les différents coefficients retenus donnent le plus souvent une surestimation des besoins en oxygène :

$$a' = 0,35 \text{ kg d}'O_2/\text{kg de DCO éliminé}$$

$$b' = 0,07 \text{ kg d}'O_2/\text{kg de MVS'}/\text{jour}$$

$$C_m' = 0,3 \text{ kg de DCO appliqué}/\text{kg de MVS'}. \text{jour},$$

$$\text{Avec } 1 \text{ g de lipides} = 2,3 \text{ g de DCO} = 2,3 \text{ g de DBO}_5$$

On peut considérer, en raison de la composition du déchet grassey, que toute la DCO est totalement biodégradable avec des temps de séjour élevés. Pour ce substrat, la DBO_5 n'est pas retenue car la dégradation biologique du produit nécessite des temps de contact biomasse/déchets grassey supérieurs à cinq jours.

Les besoins en O_2 pour traiter 1 kg de DCO appliqué sur le réacteur biologique des graisses sont les suivants :

$$\text{➤ } (a' \times \text{DCO éliminé}) + (b' \times \text{biomasse})$$

$$\text{➤ } 0,35 \times (1 \text{ kg} \times 80 \%) + (0,07 \times 3,33 \text{ kg de biomasse})$$

➤ 0,5 kg d' O_2 par kg de DCO appliqué, sachant que 80 % de la DCO appliquée est dégradée, le reste étant adsorbé, on obtient 0,6 kg d' O_2 par kg de DCO éliminé.

Annexe V. Exemple de dimensionnement d'un réacteur de traitement biologique des graisses issues d'un dégraisseur raclé traitant des effluents à dominante domestique.

Collectivité : 20 000 EH (sans apport de graisse extérieure).

➤ Bases de dimensionnement

Charge massique : 0,25 kg de DCO/kg de MVS_T/j d'où 0,31 kg de DCO/kg de MVS' (biomasse)/j

Charge volumique : 2,5 kg de DCO/m³ de réacteur/j

◆ On obtient une concentration en MVS' de 8,1 g/l et en MVS_T de 10 g/l.

Sur des boues à 80 % de MVS_T, la concentration en MES est de 12,5 g/l.

Sachant que les boues produites journalièrement sont évacuées, la charge en DCO du déchet graisseux entrant x production de boue = charge en MVS sortant du système

◆ d'où, [DCO]_{dg} à injecter = [MVS'] / P_{B (MVS')} = 8,1 / 0,24 ≈ 33,7 g/l

Production de boue (ordre de grandeur dépendant principalement de la charge massique et de la température), soit 0,3 kg MVS'/kg de DCO éliminé ou 0,24 kg MVS'/kg de DCO apporté (sur une base de 80 % d'élimination des lipides) ou 0,3 kg MVS_T/kg de DCO apporté.

◆ Ts = [DCO]_{dg} / Cv = 33,7 / 2,5 ≈ 13,5 jours

◆ Ts = Âge de boue = 1 / (Cm x P_B) = 1 / (0,31 x 0,24) ≈ 13,5 jours

62

➤ Charges à traiter : collectivité de 20 000 EH

◆ Charge en DCO entrante (en kg/j) = 2 900 kg/j (sur la base de 145 g de DCO/EH)

◆ Charge en DCO récupérée en surface d'ouvrage : 2 900 x 35⁽¹⁾ % x 20⁽²⁾ % x 50 %⁽³⁾ = 102 kg/j, soit 3,5 % de la DCO entrante.

➤ Volume du réacteur

Charge volumique = 2,5 kg de DCO/m³ de réacteur/j

◆ Volume du réacteur = 102 / 2,5 = 41 m³

La charge massique préconisée est de 0,25 kg de DCO / Kg de MVS_T/j, ce qui entraîne une concentration en MVS_T de 10 g/l.

➤ Dilution du déchet graisseux

Les 102 kg de DCO/jour apportés par le racleur de surface du dégraisseur donnent un volume moyen de déchets graisseux de 570 litres en sachant qu'un déchet graisseux raclé a une concentration moyenne de 180 g de DCO/litre de déchet graisseux.

◆ Volume de déchets graisseux = 102 kg de DCO / 180 g/l = 0,57 m³/j de déchets graisseux collectés

◆ Volume d'eau de dilution (en m³) = (C x P_B / [MVS_T]) - V_{dg}

avec C : charge en DCO à traiter par le réacteur en kg de DCO/j.

P_B : production de boue = 0,3 kg MVS_T/kg de DCO appliqué

[MVS_T] : concentration en MVS totale dans le réacteur

◆ Volume d'eau de dilution = (102 x 0,3 / 10) - 0,57 = 2,49 m³ d'eau de dilution à apporter par jour.

⁽¹⁾ part des lipides exprimée en DCO ; ⁽²⁾ abattement des lipides par le dégraisseur ; ⁽³⁾ fraction de lipides récupérée en surface d'ouvrage.

➤ Compléments en nutriments

Besoins : DCO/N-NH₄⁺/P-PO₄³⁻ : 100/2,8/0,6

◆ Pour 102 kg DCO à traiter soit 82 kg de DCO éliminé, les apports sont de 2,3 kg de N-NH₄⁺/jour et de 0,5 kg de P-PO₄³⁻/jour.

Les apports en composés azotés et phosphorés par l'eau de dilution (ici eau prétraitée) seront considérés comme négligeables, soit 85 g en N-NH₄⁺ et 20 g en P-PO₄³⁻.

➤ Capacités d'aération

Système retenu : insufflation fines bulles

Charge à traiter = 102 kg de DCO/j.

Besoins en O₂ = 0,6 kg d'O₂/kg de DCO éliminé biologiquement.

Coefficient global de transfert (CTG) = 0,45.

Rendement global des diffuseurs = 17 % (pour une immersion de 4,25 m et un rendement de transfert de 4 % par mètre d'eau).

◆ Besoins journaliers en O₂, dimensionnement basé sur une alimentation continue.

= 102 kg de DCO apporté x 80 % d'élimination x 0,6 kg d'O₂/kg de DCO éliminé

= 49 kg d'O₂ par jour = AH'

Avec un CTG de 0,45, on sait que la quantité d'oxygène (AH) à injecter dans l'eau est de 49 kg /0,45 = 109 kg d'oxygène/jour.

D'où Q à injecter = AH/(RO x 0,3), avec une teneur de 300 g d'O₂/m³ d'air pour 0 °C et 1013 hPa

Pour éliminer 82 kg de DCO, il faudra injecter : 109/(0,3 x 0,17) soit 2135 Nm³ d'air/j ou 89 Nm³ d'air/h

➤ Asservissement des temps d'aération

Type d'alimentation	continue	bâchée
Asservissement	optionnel	indispensable
Agitation	optionnelle	indispensable

➤ Puissance installée (basée sur une alimentation continue) :

Débit d'air injecté = 89 Nm³ d'air/heure

Quantité d'O₂ transféré en eau claire = 109 kg d'O₂/jour soit 4,54 kg d'O₂ par heure

A.S.B estimé = 2,8 kg d'O₂/kW

Puissance d'aération à installer = 4,54/2,8 = 1,62 kW

Puissance spécifique de brassage = 1,62 kW/42 m³ = 39 W/m³

Les puissances de brassage sont suffisantes pour maintenir une bonne agitation dans le réacteur.

Dans le cas d'une alimentation par bâchée, le dimensionnement des apports en oxygène sera basé sur l'acceptation dans le réacteur d'une absence d'oxygène maximale n'excédant pas deux heures.

A rectangular image with a blue sky and a white building in the background. The word "Résumé" is written in white text in the center.

Le gisement des déchets gras est important et en augmentation en France. La nouvelle réglementation sur la mise en décharge, applicable à partir de 2002, conduit à trouver des traitements spécifiques pour ces résidus.

Il existe déjà plus d'une soixantaine d'installations de traitement biologique aérobie des graisses en fonctionnement en France. La mise en œuvre de ce traitement est relativement simple et s'intègre facilement sur le site d'une station d'épuration.

Les résultats obtenus sur trois sites représentatifs des principaux procédés recensés sont satisfaisants : les rendements ont été en moyenne de 84 % sur les lipides totaux, pour des charges massiques de 0,25 kg DCO appliqué/kg MVS/j.

Mots clés : déchets, eaux usées, épuration, graisses, hydrolyse, lipides, oxydation, traitement biologique aérobie.

A rectangular image with a blue sky and a white building in the background. The word "Abstract" is written in white text in the center.

The greasy waste (also named F.O.G. for fats oils and grease) volume is increasing more and more in France. The new regulations on waste disposal that will be in force right from 2002 leads to develop specific treatments for such residues.

About sixty grease aerobic biological treatment plants are operating in France. The implementation of this biological treatment process is relatively simple and could be easily integrated on a wastewater treatment plant.

Results were obtained from three experimental plants representative of the main treatment processes. The applied loads were around 0.25 kg of COD.kg MLVSS⁻¹. d⁻¹. Under such conditions the yields for the total lipids were very good (80 to 85 %).

Keywords : wastes, wastewater treatment plants, greases, hydrolysis, lipids, oxydation, aerobic biological treatment, F.O.G. performances, design, grease separator.