
**Valorisation, recyclage, traitement et
élimination des boues — Exigences et
recommandations pour l'exploitation
des installations de digestion
anaérobie**

iTeh STA *Sludge recovery, recycling, treatment and disposal — Requirements
(standards.iteh.ai) and recommendations for the operation of anaerobic digestion
facilities*

ISO 19388:2023

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5156860b-ec0c-40fa-98ab-5543f1f6a3ad/iso-19388-2023>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 19388:2023

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5156860b-ec0c-40fa-98ab-5543f1f6a3ad/iso-19388-2023>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2023

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Genève
Tél.: +41 22 749 01 11
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	v
Introduction	vi
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes, définitions et termes abrégés	1
3.1 Termes et définitions	1
3.2 Termes abrégés	3
4 Principes de base	3
4.1 Périmètre	3
4.2 Principe	4
4.3 Prétraitement	5
4.3.1 Généralités	5
4.3.2 Prétraitement physique	8
4.3.3 Prétraitement chimique	9
4.3.4 Hydrolyse enzymatique	9
4.4 Digesteur	9
4.4.1 Forme	9
4.4.2 Configurations	10
4.4.3 Système de brassage	11
4.4.4 Système de chauffage	14
4.4.5 Température d'exploitation	15
4.4.6 Description de la filière	15
5 Performances de la digestion	16
5.1 Composition des intrants	16
5.2 Caractérisation des intrants	16
5.3 Évaluation de la production potentielle de méthane	16
5.4 Évaluation des risques de formation de mousses	20
5.5 Propriétés rhéologiques	21
5.6 Estimation de la qualité du biogaz	21
6 Performance opérationnelle	22
6.1 Prétraitement	22
6.1.1 Généralités	22
6.1.2 A-coups de charge ou surcharge du digesteur	23
6.1.3 Chauffage insuffisant ou excessif	23
6.1.4 Mise en service et démarrage	23
6.1.5 Efficacité du brassage et temps de séjour hydraulique	25
6.1.6 Circuit du biogaz	26
6.1.7 Contrôle du gaz	27
6.1.8 Production de CH ₄	27
6.1.9 Suivi du processus	28
6.1.10 Retours en tête	29
6.2 Qualité et caractéristiques du digestat	29
6.2.1 Efficacité du processus	29
6.2.2 Déshydratabilité	29
6.2.3 Qualité du biogaz	30
6.2.4 Quantité de biogaz	30
6.2.5 Traitement du biogaz	31
7 Sécurité des procédés — Dépistage des problèmes	32
7.1 Régulation de la pression	32
7.2 Arrêt des systèmes CHP	32
7.3 Gestion des odeurs	32
7.4 Formation de mousses	32

7.5	Corrosion.....	33
7.6	Dépôts de struvite.....	33
7.7	Élimination des sables et graviers.....	33
Annexe A (informative) Stabilisation des boues.....		34
Annexe B (informative) Paramètres chimiques de l'ammonium — Valeurs de pKa NH₃/NH₄⁺.....		37
Bibliographie.....		38

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 19388:2023

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5156860b-ec0c-40fa-98ab-5543f1f6a3ad/iso-19388-2023>

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier, de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir www.iso.org/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 275, *Valorisation, recyclage, traitement et élimination des boues*.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse www.iso.org/fr/members.html.

Introduction

Le marché de la digestion anaérobie des boues des stations d'épuration des eaux usées ne cesse de croître à l'échelle mondiale. Le procédé de digestion anaérobie présente plusieurs avantages pour le traitement des boues: diminution du volume des boues, recyclage des matières organiques et valorisation énergétique.

De ce fait, la normalisation des conditions d'exploitation est un point essentiel pour assurer un développement efficace du traitement par digestion anaérobie. Du fait des nombreux risques que peut présenter ce procédé, des mesures de sécurité adaptées doivent être appliquées. Les paramètres de sécurité sont inclus dans les analyses des risques (par exemple, HAZOP).

Par conséquent, les objectifs du présent document sont les suivants:

- réduire la quantité de matières volatiles, atténuer les émissions de mauvaises odeurs et produire du biogaz;
- obtenir une bonne stabilité et une bonne performance du processus;
- maximiser la qualité des sous-produits: qualité du digestat et qualité du biogaz pour ses différents usages (injection de biogaz valorisé dans le réseau de gaz, stockage de biogaz liquéfié, réutilisation comme carburant, production d'électricité et de chaleur);
- assurer une exploitation sûre et fiable: la sécurité industrielle des conduites et du réseau d'automatisation ainsi que des équipements de production de biogaz est un point particulièrement important;
- réduire les émissions de gaz à effet de serre, en particulier de méthane.

La stabilisation anaérobie ne signifie pas l'hygiénisation des boues, la réduction des pathogènes étant seulement de 1 log à 3 log. Une réduction plus importante ne peut être obtenue que dans des conditions de température et avec un temps de séjour spécifiques, qui ne sont pas traités dans le présent document.

Valorisation, recyclage, traitement et élimination des boues — Exigences et recommandations pour l'exploitation des installations de digestion anaérobie

1 Domaine d'application

Le présent document établit des exigences et recommandations pour la digestion anaérobie des boues, pour assurer un fonctionnement sûr et satisfaisant des installations de digestion anaérobie afin d'obtenir une production de biogaz suffisante et de contrôler la qualité des sous-produits.

En particulier, le présent document décrit les conditions permettant d'optimiser le brassage dans le réacteur et de bien gérer les systèmes de commande pour garantir une exploitation sûre et fiable. Les performances des processus en termes de production de biogaz et de digestats sont présentées selon les types de technologies disponibles sur le marché. Le mélange de boues avec des déchets (cosubstrat) et le mélange de boues avec des déchets organiques afin d'augmenter la charge du digesteur, sont également pris en considération.

Le présent document s'adresse aux décideurs et aux opérateurs en charge d'un système de digestion anaérobie.

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

3 Termes, définitions et termes abrégés

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org/>

3.1 Termes et définitions

3.1.1

micro-organisme méthanogène acétoclaste

micro-organisme anaérobie utilisant l'acétate comme principal substrat

3.1.2

digestion anaérobie

processus anaérobie réalisant deux fonctions de même importance: la stabilisation en milieu anaérobie du substrat et la production d'énergie par la transformation du substrat en biogaz

3.1.3

potentiel méthanogène

BMP (biochemical methane potential)

volume de méthane produit pendant la dégradation de l'échantillon par rapport à la masse de biosolides de l'échantillon, et exprimé dans des conditions normales de température (0 °C) et de pression (1 013 hPa)

3.1.4

**digestat
boue digérée**

effluent restant du procédé de digestion anaérobie, comprenant la fraction solide et la fraction liquide

[SOURCE: ISO 20675:2018, 3.19]

3.1.5

**gaz de digesteur
biogaz**

mélange gazeux produit pendant la digestion anaérobie et composé essentiellement de méthane et de dioxyde de carbone

3.1.6

alimentation

opération consistant à ajouter du substrat dans un digesteur anaérobie

3.1.7

hydrolyse

transformation biologique, chimique, thermique ou physique de la demande chimique en oxygène de la fraction solide en demande chimique en oxygène dissoute, par réaction avec l'eau

3.1.8

phase

voies métaboliques distinctes

EXEMPLE Digestion en deux phases: hydrolyse/acidogenèse, suivie d'une acétogenèse/méthanogenèse.

3.1.9

substance facilement dégradable

substance qui est facilement et complètement dégradable par des micro-organismes

3.1.10

âge des boues

temps de séjour des solides dans un réacteur

Note 1 à l'article: Elle est généralement exprimée en j.

3.1.11

stabilisation

processus de conversion des substances organiques en matières dont la biodégradation est nulle ou dont la biodégradation est lente

3.1.12

étape

l'une des parties successives d'un processus

EXEMPLE

Digesteur en série, avec un digesteur primaire suivi d'un digesteur secondaire pour parachever le processus.

3.1.13

substrat

intrants contenant des composés organiques dégradables

3.1.14

charge organique volumique

masse de substrat, mesurée en matières solides totales, matières volatiles, demande biochimique en oxygène ou demande chimique en oxygène, traitée par volume du digesteur et par jour

3.2 Termes abrégés

AGV	acides gras volatils
ATU	test à l'allylthiourée (allylthiourea assay)
BMP	potentiel méthanogène (biochemical methane potential)
CAPEX	dépenses d'investissement (capital expenditure)
CHP	cogénération de chaleur et d'électricité (combined heat and power)
DBO	demande biochimique en oxygène
DCO	demande chimique en oxygène
ECP	polymère extracellulaire (extracellular polymer)
FOG	corps gras, huiles et graisses (fats, oils and greases)
ITHP	processus intermédiaire d'hydrolyse thermique (intermediate thermal hydrolysis process)
MV	matières volatiles
OPEX	dépenses opérationnelles (operational expenditure)
OUR	demande en oxygène (oxygen uptake rate)
SOUR	demande spécifique en oxygène (specific oxygen uptake rate)
TS	matières solides totales (total solids)
TSH	temps de séjour hydraulique
TSS	temps de séjour des solides

4 Principes de base

4.1 Périmètre

La [Figure 1](#) décrit la configuration du système de digestion anaérobie. Le présent document porte principalement sur le fonctionnement des digesteurs anaérobies et sur les prétraitements.

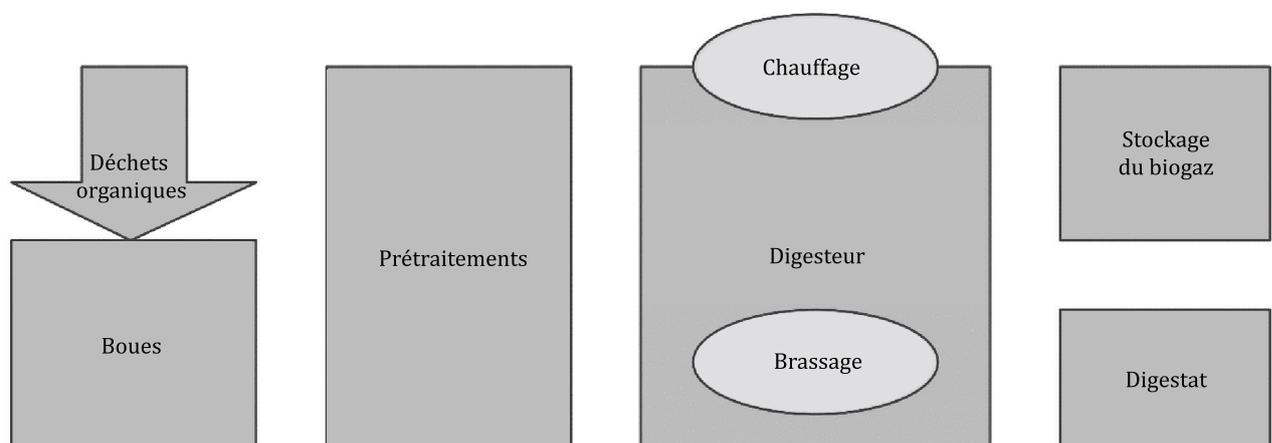


Figure 1 — Configuration type d'un système de digestion anaérobie

4.2 Principe

La digestion anaérobie est un processus essentiel dans le traitement des eaux usées; elle permet un traitement efficace des flux de déchets solides et une valorisation des ressources. La digestion anaérobie nécessite généralement des boues primaires. Ces boues primaires génèrent l'essentiel de la production de gaz de digesteur. Des boues secondaires ou tertiaires peuvent également être stabilisées, mais il convient de les épaissir (généralement par des procédés mécaniques) avant de procéder à leur digestion anaérobie. La généralisation des procédés de traitement des eaux usées basés sur des boues activées, en particulier au cours du 20^e siècle, nécessitait que la digestion permette de stabiliser efficacement les gros volumes de boues activées générées en excès. Le principal objectif de la digestion anaérobie dans le traitement des eaux usées est d'assurer une désintégration et une destruction des matières dégradables de la fraction solide des boues afin de réduire cette fraction et de diminuer la masse et le volume des matières après déshydratation ou séchage.

Ce traitement permet de récupérer des ressources utiles, notamment du biogaz combustible (méthane) ainsi que les nutriments contenus dans les boues du digesteur. La digestion anaérobie implique la décomposition microbienne des composés organiques présents dans les boues des eaux usées (protéines, glucides et lipides) en l'absence d'oxygène dissous. Les micro-organismes qui entrent en jeu dans la digestion anaérobie se composent d'un consortium microbien complexe caractérisé par des propriétés métaboliques et des exigences physicochimiques diverses. Les principaux produits de la digestion anaérobie, outre les matières solides digérées et stabilisées riches en phosphore, sont l'eau, riche en ammoniac et fortement alcaline, et le biogaz, qui se compose principalement de méthane (généralement entre 60 % v/v et 70 % v/v) et le dioxyde de carbone (généralement une fraction volumique comprise entre 30 % et 40 %), ainsi que d'autres éléments mineurs comme l'hydrogène, l'azote, le sulfure d'hydrogène et les siloxanes. La composition du gaz de digesteur dépend de la qualité du substrat. Elle peut être différente pour des boues industrielles ou en cas d'ajout d'autres substrats.

La digestion anaérobie transfère l'énergie des matières solides vers le gaz de digesteur (méthane). Seule une infime partie de l'énergie est utilisée pour la production de biomasse. D'après un calcul théorique, chaque kilogramme de DCO éliminée aboutit à 0,35 m³ de méthane, équivalent à 3,5 kWh d'énergie par kg de DCO éliminée.

La digestion anaérobie se déroule en quatre étapes biologiques distinctes, à savoir l'hydrolyse, l'acidogénèse, l'acétogénèse et la méthanogénèse; il est admis d'ajouter une étape de prétraitement supplémentaire avant l'hydrolyse, pour les intrants contenant des particules solides, afin de fragmenter ces éléments solides en particules plus petites et de favoriser l'hydrolyse^[50].

- Hydrolyse: L'hydrolyse génère des composés organiques solubles (par exemple, sucres) à partir des matières volatiles que les micro-organismes peuvent assimiler à travers leurs membranes cellulaires. L'hydrolyse est généralement l'étape limitante du processus de digestion.
- Acidogénèse: Les composés hydrolysés produits pendant l'étape d'hydrolyse sont ensuite convertis en un mélange d'acides gras volatils à chaîne courte (par exemple, acide acétique, acide propionique, acide butyrique et acide valérique), d'alcools, d'esters, de sucres et d'autres composés organiques simples (par exemple, acide carbonique), par divers micro-organismes appelés acidogènes. La proportion relative des différents coproduits métaboliques (H₂ et CO₂) dépend de la qualité du substrat ainsi que des conditions d'exploitation.
- Acétogénèse: Les produits de l'acidogénèse sont ensuite transformés en acide acétique, en dioxyde de carbone (CO₂) et en dihydrogène (H₂) par des micro-organismes acétogènes. Les micro-organismes acétogènes se multiplient plus lentement que les micro-organismes acidogènes. Aussi, un contrôle attentif du processus et un fonctionnement stabilisé du digesteur sont exigés pour éviter une accumulation excessive des acides, induisant une chute du pH qui peut provoquer des perturbations au niveau du digesteur voire un arrêt du processus. Toutefois, les micro-organismes les plus lents à se développer sont les méthanogènes.

Certaines voies mineures, comme l'oxydation syntrophique de l'acétate, (oxydation de l'acétate en H₂ et CO₂) réalisées par les micro-organismes méthanogènes, peuvent se produire et être prévalentes dans des conditions de stress (par exemple, concentration élevée d'ammoniac due à un taux important d'ammonium, pH élevé et température élevée).

- Méthanogenèse: Cette dernière étape aboutit à la production de méthane par des micro-organismes méthanogènes (archées), soit à partir d'acétate, soit à partir d'hydrogène. En général, la source principale de production de méthane (environ 70 %) est l'acétate, par le biais de méthanogènes dits acétoclastes, et, pour les quelque 30 % restants de méthane produit, les méthanogènes hydrogénotrophes. Le rapport entre le méthane généré à partir d'acétate et à partir d'hydrogène varie selon les conditions d'exploitation et les caractéristiques du substrat. Les méthanogènes se développent plus lentement que les acidogènes et les acétogènes, et sont aussi plus sensibles aux contraintes environnementales (déséquilibre du pH et de la température, substances toxiques ou inhibitrices comme l'oxygène libre ou perturbation de l'apport de nutriments).

Cette succession d'étapes met en évidence deux points nécessitant une attention particulière pour optimiser la digestion anaérobie.

- Les micro-organismes méthanogènes (essentiellement les méthanogènes acétoclastes) sont ceux qui ont le développement le plus lent, car la différence d'énergie entre leur substrat et leurs produits finaux est faible (autrement dit, ils gagnent peu d'énergie). Par ailleurs, ils sont particulièrement sensibles aux phénomènes d'inhibition.

Les *Methanosarcina* ont un taux de croissance maximal de $0,3 \text{ j}^{-1}$ et les *Methanothrix* un taux de croissance maximal de $0,1 \text{ j}^{-1}$.^[8] Selon l'équation de Monod, le taux de croissance dépend de la concentration en substrat. L'équation de Monod est donnée dans la [Formule \(1\)](#):

$$\mu = \frac{\mu_{\max} \times C_s}{K_s + C_s} \times \frac{K_i}{K_i + C_i} \quad (1)$$

où

μ est le taux de croissance, en j^{-1} ;

μ_{\max} est le taux de croissance maximal pour une concentration illimitée en substrat, en j^{-1} ;

K_s est une constante, en g/l, qui dépend du type de micro-organisme et de son substrat; si $C_s = K_s$, alors $\mu = 1/2 \times \mu_{\max}$;

K_i est une constante, en g/l, qui dépend du type de micro-organisme et de son inhibiteur; si $C_i = K_i$, alors $\mu = 1/2 \times \mu_{\max}$;

C_i est la concentration en inhibiteur, en g/l;

C_s est la concentration en substrat, en g/l.

- L'hydrolyse est l'étape limitante du processus de digestion. Dans les cuves de stockage de boues brutes, plutôt chauffées, se produit une hydrolyse biologique. Les particules de DCO sont transformées en DCO dissoute et facilement dégradable.

La digestion en série se produit successivement dans un digesteur primaire fortement chargé, suivi d'un digesteur secondaire moins chargé; le micro-organisme peut être le même aux deux étapes. Une digestion en série (mésophile et mésophile) est plus efficace qu'un seul réacteur mésophile parce que la distribution autour du temps de séjour moyen est plus resserrée.

4.3 Prétraitement

4.3.1 Généralités

Le premier prétraitement consiste généralement à épaisir le substrat. Il convient que le substrat qui alimente le système présente une concentration en matières solides (30 g/l à 80 g/l) conforme aux conditions d'exploitation du digesteur anaérobie. Il convient que cette concentration atteigne 150 g/l à 250 g/l en cas de codigestion de boues et d'autres déchets organiques. La concentration de boues et/ou de déchets organiques doit être obtenue par gravité ou par épaissement mécanique.

ISO 19388:2023(F)

Des prétraitements complémentaires améliorent les performances de la digestion anaérobie, conduisant à une augmentation de la charge organique volumique et/ou de la production de gaz. Ces prétraitements sont de préférence conçus de façon à améliorer l'hydrolyse des boues, qui est l'étape limitante de la digestion anaérobie. Un tamisage fin de tous les substrats entrants est généralement recommandé afin d'éliminer les éléments grossiers, comme les produits d'hygiène et de cosmétiques et les matières plastiques. L'élimination du sable et des graviers réduit l'abrasion et l'usure des équipements mécaniques, la formation de dépôts dans les canalisations et l'accumulation de sable dans les digesteurs anaérobies.

Les avantages et les inconvénients des différents types de prétraitements à la digestion anaérobie sont présentés au [Tableau 1](#).

Les estimations à pleine échelle présentées dans le [Tableau 1](#) sont des valeurs moyennes qui dépendent des caractéristiques du procédé.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 19388:2023](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5156860b-ec0c-40fa-98ab-5543f1f6a3ad/iso-19388-2023>

Tableau 1 — Avantages et inconvénients des différents types de prétraitements à la digestion anaérobie

Technique de prétraitement	Type de boues	Taux d'hydrolyse (khyd)	Biodégradation	Élimination des MV	Déshydratabilité du digestat	Charge de retour en tête (NH4-N)	Rendement en biogaz	OPEX	CAPEX	Référence
Prétraitement physique										
Thermique < 100 °C, durée d'application < 24 h (pasteurisation)	Boues mixtes	+	±	±	±	--	±	++	++	[44]
Thermique > 100 °C	Boues mixtes et boues en excès	++	++	++	+ - consommation de polymères	- -- DCO	++	++	+++	[25]; [26]; [28]; [29]; [30]; [34]; [35]; [36]; [37]; [38]; [39]; [41]
Mécanique (homogénéisation à haute pression, désintégration par ultrasons et désintégration mécanique)	Boues mixtes	+ / ++	+	+ / ++	± - consommation de polymères	-	+	+ / ++	+ / ++	[47]; [45]; [40]; [26]; [46]; [33]; [32]
Prétraitement chimique										
Hydrolyse alcaline	Boues mixtes (industrielles et municipales)	++	+	++	- - consommation de polymères	-	±	++	±	[7]
Oxydation (O ₃)	Boues mixtes	++	+	++	+ - consommation de polymères	- - DCO	+	++	++	[45]
Prétraitement biologique										
Enzymes	Boues mixtes	+	±	±	+	-	±	+ / ++	±	[31]; [43]; [26]
Légende										
+ : amélioration (+ faible, ++ moyenne, +++ importante)										
- : dégradation (- faible, - moyenne, -- importante)										
± : aucun changement significatif										
Les signes(±) utilisés dans ce tableau sont estimés d'après des données de digestion anaérobie industrielle, avec ou sans prétraitements.										