La surveillance des digesteurs anaérobies permet d'optimiser la production de biogaz en toute sécurité

Introduction à la digestion anaérobie

La digestion anaérobie est une technologie couramment utilisée pour stabiliser les matières provenant des stations d'épuration et des sites industriels. La stabilisation est un processus qui réduit la teneur en agents pathogènes des boues issues des procédés de traitement, rendant le produit sûr pour sa valorisation ou son élimination. La digestion anaérobie est utilisée dans diverses industries, et par environ 10 % des stations de traitement des eaux usées municipales.

La digestion anaérobie diffère des autres processus de stabilisation en raison de son potentiel de valorisation d'énergie par le biais du biogaz généré. Sous-produit du procédé de digestion, le biogaz peut être utilisé dans les chaudières pour la production de chaleur, les moteurs/turbines connectés à des générateurs pour la production d'énergie ou encore traité pour produire

d'autres combustibles, tel que le biométhane. Cette capacité de produire de l'énergie à partir de nos déchets fait de la digestion anaérobie une technologie séduisante. Pour les stations de traitement des eaux usées, la gestion des ressources fait d'ailleurs partie intégrante des exigences réglementaires

Les digesteurs anaérobies sont alimentés par des boues générées par les traitements des eaux usées dans les stations d'épurations, ainsi que par des graisses, des huiles ou des déchets issus de l'industrie alimentaire. Bien qu'il existe de nombreuses configurations pour les digesteurs anaérobies (mésophiles, thermophiles, etc.), l'objectif reste inchangé : créer un environnement qui favorise la décomposition contrôlée et stable des matières organiques par un processus biologique. Cela se fait en quatre étapes : hydrolyse, acidogénèse, acétogénèse et méthanogénèse.

Les bactéries fabriquant du méthane sont sensibles à de nombreux paramètres, notamment la température, le pH et la présence de diverses toxines.

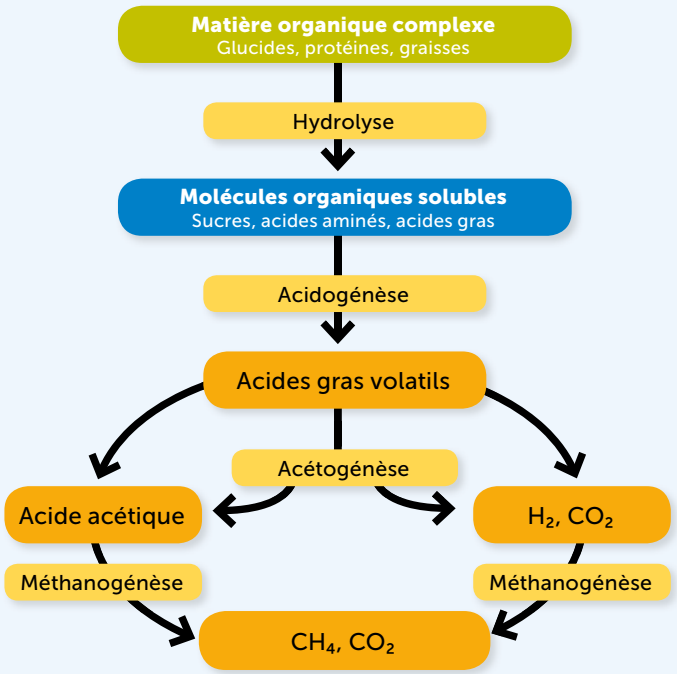
Un pH entre 6.8 et 7.2 permet des performances optimales. Si le pH chute dans le digesteur, les méthanogènes peuvent être inhibés, ce qui interrompt complètement le processus de digestion et la production de biogaz.

Medina County Sanitary Engineers – Kenneth W. Hotz WRF

Medina County Sanitary Engineers soutient les services publics desservant la ville de Medina, (Brunswick), et plusieurs autres communes. Le comté possède trois installations de récupération des eaux, y compris la nouvelle usine de traitement des eaux usées de Kenneth W. Hotz WRF, anciennement connue sous le nom d'usine de traitement des eaux usées de Liverpool. Sur ce site, le comté a financé des mises à niveau pour accroître la capture d'énergie renouvelable à partir de son système de digesteurs anaérobies.

Aperçu du processus de digestion anaérobie

1. **Hydrolyse** : la matière organique/les cellules sont décomposées sous une forme soluble
2. **Acidogénèse** : les molécules organiques solubles sont converties en acides gras volatils (AGV) par des bactéries acidogènes
3. **Acétogénèse** : décomposition supplémentaire des AGV, principalement en acide acétique (les étapes 2 et 3 peuvent être collectivement appelées fermentation)
4. **Méthanogénèse** : les AGV et l'hydrogène sont convertis en méthane (biogaz) et en dioxyde de carbone par des bactéries méthanogènes



Cela entraine une altération du digesteur : odeurs nauséabondes, perte de temps, panne de système onéreuse dont la résolution coûte souvent des dizaines de milliers de dollars.

La stabilité du digesteur augmente sensiblement lorsque l'alcalinité du digestat est élevée. L'alcalinité d'une solution est définie comme étant sa capacité à résister aux changements de pH en présence d'acides ou de bases. Dans les digesteurs anaérobies, l'alcalinité diminue pendant la production d'AGV à l'étape 2 mentionnée ci-dessus. Heureusement, des bicarbonates sont produits lors de la transformation des AGV en méthane, comme indiqué à l'étape 3 ci-dessus. Les opérateurs peuvent maintenir dans le digesteur un équilibre optimum entre les AGV et l'alcalinité, en contrôlant soigneusement l'alimentation en substrat, l'homogénéisation et la température.

Bien que les processus de digestion anaérobie soient bien connus, les dysfontionnements des digesteurs ou une production trop faible d'énergie restent des défis auxquels les opérateurs sont souvent confrontés.

L'efficacité de la digestion anaérobie peut être considérablement améliorée en mettant en oeuvre des technologies de prétraitement qui lysent les cellules consommées dans le digesteur. La lyse cellulaire améliore l'efficacité, la production d'énergie et la réduction des matières dans le processus de digestion. L'hydrolyse thermique est un exemple de ce type de prétraitement. Ce procédé utilise une pression et une chaleur extrêmes pour obtenir ces résultats. Le prétraitement des boues anaérobies améliore la digestion de manière significative, mais le système doit également être soigneusement surveillé pour éviter la surcharge du digesteur.

Surveillance anaérobie des digesteurs

La surveillance anaérobie habituelle des digesteurs consiste à prélever périodiquement du digestat (idéalement une fois par jour) pour la mesure en laboratoire du pH, de l'alcalinité et des AGV. Si cela peut être suffisant pour des processus très stables, la plupart des digesteurs anaérobies sont soumis à un degré élevé de variabilité dans leurs conditions opérationnelles. Dans de tels cas, une surveillance supplémentaire ou une fréquence d'échantillonnage accrue peut être nécessaire pour éviter les incidents ou simplement optimiser les performances de la production d'énergie.

La stabilité du digesteur et la production optimale d'énergie peuvent être réalisées de manière sûre et efficace, grâce à la surveillance continue de certains indicateurs clés de l'état du digesteur. Sachant la sensibilité du digesteur aux variations de température et de pH, les opérateurs peuvent être tentés de ne surveiller que ces deux paramètres pour éviter les perturbations. Toutefois, cette approche est insuffisante en raison de la nature du problème. En effet, lorsque le pH change, la détérioration du digesteur peut déjà être inévitable en raison de l'épuisement de l'alcalinité disponible. Dans un tel cas, la méthanogénèse a probablement déjà été inhibée. La surveillance directe en temps réel du rapport AGV/alcalinité produit dans les digesteurs est un outil plus précieux pour surveiller l'état général du processus de

digestion anaérobie. En plus du rapport AGV/alcalinité, les teneurs en bicarbonates peuvent aider à mieux comprendre la stabilité du digesteur en considérant la qualité de la matière première (par exemple, des valeurs plus élevées en bicarbonates ont été associées à des matières premières plus riches en protéines).

Ce rapport fournit une vision beaucoup plus précoce de l'état des bactéries méthanogènes et aide les opérateurs à maintenir des performances et une production d'énergie optimales.

Etude de cas : ingénieurs sanitaires du comté de Medina – Liverpool WWTP

Au début de l'année 2010, Phil Cummings (directeur général) et Dawn Taylor (directrice adjointe) de la station de traitement des eaux usées Kenneth W. Hotz (anciennement appelée usine de traitement des eaux usées de Liverpool) dans le comté de Medina, dans l'Ohio, ont été confrontés au défi suivant : déterminer comment améliorer leur processus de traitement des matières solides. Leur technologie consistait en un procédé d'oxydation par voie humide, coûteux en gaz et en électricité. En collaboration avec ses consultants, le Comté a décidé d'opter pour une stratégie plus durable sur le plan environnemental et produisant de l'énergie : la digestion anaérobie à hydrolyse thermique.

Rapports AGV/ alcalinité	Contexte	Mesure
0,8	La production de méthane cesse	Arrêter l'alimentation, ajouter l'alcalinité
0,6 - 0,7	La stabilité du digesteur est critique	Réduire ou arrêter, ajouter l'alcalinité
0,4 - 0,5	Les conditions anaérobies sont perturbées	Réduire le taux d'alimentation, ajuster les conditions de fonctionnement, envisager d'ajouter de l'alcalinité
0,3 - 0,4	La production de biogaz est élevée	Envisager de réduire le taux d'alimentation ou d'ajuster les conditions de fonctionnement
0,2 - 0,3	La production de biogaz est modérée	Continuer de surveiller de près les conditions du digesteur
< 0,2	La production de biogaz est faible/prudente	Possibilité d'augmenter lentement l'alimentation pour une production de gaz plus élevée

Mesures suggérées pour l'évaluation des rapports AGV/alcalinité (adapté du protocole 16 « Digestion anaérobie des boues », 1987).

Du traitement des eaux usées à la production de ressources

La Ville a choisi des digesteurs anaérobies avec prétraitement par hydrolyse thermique, pour maximiser la récupération d'énergie par une production optimale de biogaz. Afin d'assurer une alimentation optimale et de surveiller en continu l'état des digesteurs, le comté a commencé à rechercher des technologies de surveillance en ligne. Son objectif : compléter les procédures de laboratoire standard utilisées pour surveiller l'état des digesteurs anaérobies (prélèvements d'échantillons pour AGV, alcalinité et pH).

Après une recherche approfondie sur le marché, la station a décidé d'acheter l'analyseur Hach® EZ7250 pour surveiller en temps réel les AGV, les bicarbonates, l'alcalinité et le pH des digesteurs. Cette technologie a été particulièrement utile lors du démarrage du système THP pour s'assurer que les niveaux d'alimentation des digesteurs n'entraînaient pas une production excessive d'AGV (et une inhibition potentielle des bactéries méthanogènes), tout en assurant une production maximale de biogaz.

La plage optimale du rapport AGV/alcalinité peut varier d'une application à l'autre. Pour les stations d'épuration municipales, un rapport AGV/alcalinité correct peut varier de 0,15 à 0,3 (voire 0,4) lorsqu'il existe conjointement un processus biologique d'élimination du phosphore. Pour les applications purement industrielles, un fonctionnement sûr et efficace du digesteur peut être maintenu dans des plages légèrement plus élevées.

Digesteurs anaérobies sur la station d'épuration Kenneth W. Hotz

Les défis du maintien des performances optimales des digesteurs, dans lesquels la surveillance en ligne du rapport AGV/alcalinité pourrait apporter une alarme précoce :

- Niveaux et types d'alimentation variables
- Matières premières mélangées ou inconnues
- Efficacité du chauffage et du mélange
- Inhibiteurs bactériens (en raison d'un manque de nutriments ou de présence de substances toxiques)

Avantages

- Optimiser les flux par la récupération de l'énergie présente dans les déchets
- Limiter les temps d'arrêt (incidents) grâce à un suivi immédiat et en temps réel de l'état des digesteurs anaérobies

Présentation de l'analyseur Hach EZ7250 et du système de filtration EZ9130

Le personnel de l'usine contrôlait régulièrement le digesteur en recourant aux méthodes de laboratoire suivantes :

- AGV – Test en cuve Hach (TNT872 / LCK365) à l'aide de la méthode d'estérification (méthode 10240).
- Alcalinité – Titrage à la burette, méthode standard 2320 B-97
- Bicarbonate – Non testé en laboratoire
- pH – Via électrode pH

Afin de réduire le temps et les efforts en laboratoire, ainsi que d'accroître la visibilité du processus de digestion anaérobie durant les heures où le laboratoire est fermé, l'EZ7250 a été installé à un point d'échantillonnage sur la ligne de recirculation principale du digesteur. L'échantillon est alimenté par un système de filtration intégré, conçu pour gérer la nature difficile de l'échantillon avec un entretien minime (système de filtration à usage intensif EZ9130).

De là, l'échantillon est acheminé vers l'analyseur où les mesures automatiques d'AGV, des bicarbonates, d'alcalinité et de pH sont réalisées en une seule fois, à une fréquence de 10-15 minutes (fréquence personnalisable).

L'instrument réalise automatiquement différents titrages acido-basique, avec une faible demande de réactif et aucune volatilisation pour chaque échantillon.

Il peut être configuré avec des séquences automatiques de nettoyage, d'étalonnage, de validation et d'amorçage. L'EZ7250 existe en trois plages standard pour chaque paramètre mesuré afin de s'adapter à une large gamme d'applications d'exploitation. Le Comté a utilisé une gamme de 5 000 mg/L pour les AGV et une gamme de 100 meq/L pour l'alcalinité.

L'usine a installé l'analyseur EZ7250 tout en démarrant son système afin d'en surveiller les performances. Au démarrage du Cambi THP, l'analyseur a enregistré des changements importants et rapides des conditions du digesteur.

Au cours du démarrage, l'usine a pu affiner la fréquence de nettoyage automatisée de l'instrument en fonction des conditions spécifiques du site afin d'améliorer la fiabilité et la précision de l'analyseur. Depuis, l'instrument surveille en permanence l'état et les performances du digesteur. Le système fonctionnant en temps réel, l'usine a constaté que son digesteur avait une capacité supplémentaire suffisante pour pouvoir négocier avec de nouveaux industriels l'acceptation de leurs déchets.

Vue de l'analyseur EZ7250 – Mesure en ligne des AGV, de l'alcalinité, des bicarbonates et du pH en une seule séquence

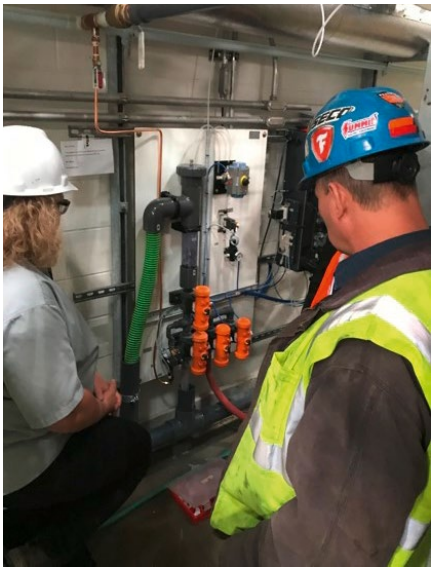
« En étant capables de surveiller les conditions de manière si étroite avec l'analyseur, nous avons été en mesure d'optimiser rapidement le taux d'alimentation au démarrage et avons eu besoin de beaucoup moins de boue d'ensemencement. Le processus s'étant stabilisé, nous avons suivi les tendances et sommes en mesure de remarquer rapidement tout changement. Par conséquent, nous avons pu réagir rapidement à des changements inattendus et apporter les ajustements nécessaires pour éviter tout problème. »

- Dawn Taylor, surintendante adjointe

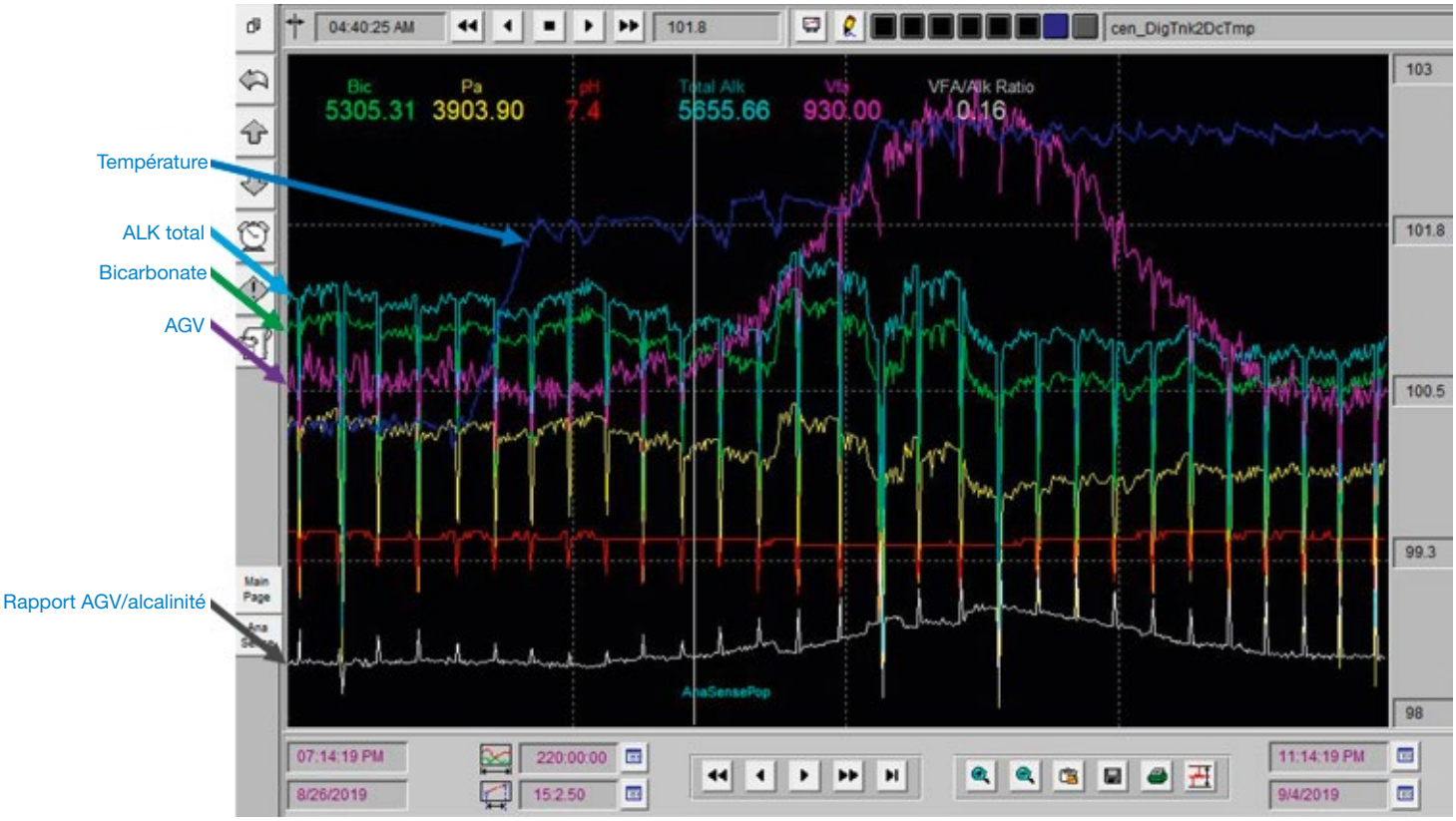
Un exemple concret

Durant une exploitation normale à la fin de l'été 2019, l'usine a remarqué une légère (mais rapide) augmentation de la température du digesteur. Dans la mesure où elle bénéficiait d'une visibilité complète et en temps réel de l'état du digesteur, elle a pu en surveiller les performances. Les données de surveillance en ligne de l'EZ7250 ont permis de comprendre que cette légère augmentation de la température avait effectivement un impact substantiel sur la biologie du digesteur. De fait, l'environnement était un peu trop chaud pour les bactéries méthanogènes, réduisant ainsi leur capacité à suivre la production d'acide. Les tendances ont montré une augmentation de la concentration d'acide dans le digesteur. Par conséquent, l'usine a pu réduire l'alimentation du digesteur pour établir un nouvel équilibre dans le système, ce qui lui a donné le temps de permettre à la température de retrouver un niveau optimal.

Les estimations techniques prévoient une réduction des coûts liés à l'énergie d'environ 1,5 million de dollars par an (environ 30 % des besoins énergétiques de l'installation). Associées au potentiel de production supplémentaire de biogaz et aux partenariats industriels, ces économies permettent non seulement d'éviter les augmentations des tarifs pour les clients, mais aussi de promouvoir l'adoption future de projets de récupération durable des ressources pour tous les acteurs du traitement des eaux.



Equipe de démarrage et vue du panneau de filtration à usage intensif EZ9130 à utiliser avec les digesteurs anaérobies



Les données de surveillance en ligne de l'EZ7250 montrent qu'une légère augmentation de la température a eu un impact sur la biologie du digesteur.

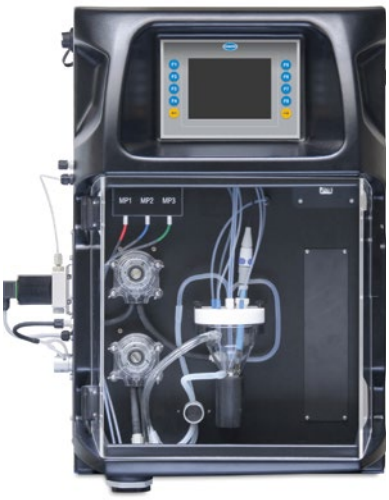
HACH®
Be Right™

Conclusions

Des instruments en ligne extrêmement précis et fiables pour suivre l'état des digesteurs anaérobies peuvent offrir de précieux avantages aux gestionnaires et aux opérateurs des systèmes :

- Réduction des perturbations et des temps d'arrêt du système
- Optimisation de l'efficacité de la valorisation des ressources (si nécessaire)

Associée au système de filtration à usage intensif EZ9130, la solution de surveillance anaérobie EZ7250 est parfaitement adaptée à tout système de digestion anaérobie. Elle peut également fournir des informations en temps réel sur les défis habituels auxquels sont confrontés les opérateurs de digesteurs anaérobies dans n'importe quel secteur.



Analyseur AGV EZ7200

+

Systèmes de filtration universels autonettoyants

Solutions d'analyse en ligne

Les analyseurs AGV EZ7200 sont des titrateurs à un seul paramètre conçus spécifiquement pour la surveillance des digesteurs anaérobies (par voie humide).

- AGV EZ7250 : 10 - 500 mg/L comme équivalent d'acétate, bicarbonate : 1 - 50 meq/L ou 5 000 mg/L de $CaCO_3$, alcalinité totale et partielle : 1 - 50 meq/L ou 5 000 mg/L de $CaCO_3$
- AGV EZ7251 : 20 - 1 000 mg/L comme équivalent d'acétate, bicarbonate : 1 - 50 meq/L ou 5 000 mg/L de $CaCO_3$, alcalinité totale et partielle : 1 - 50 meq/L ou 5 000 mg/L de $CaCO_3$
- AGV EZ7252 : 100 - 5 000 mg/L comme équivalent d'acétate, bicarbonate : 5 - 100 meq/L ou 10 000 mg/L de $CaCO_3$, alcalinité totale et partielle : 5 - 100 meq/L ou 10 000 mg/L de $CaCO_3$
- AGV EZ7253 : 500 - 10 000 mg/L comme équivalent d'acétate, bicarbonate : 5 - 100 meq/L ou 10 000 mg/L de $CaCO_3$, alcalinité totale et partielle : 5 - 100 meq/L ou 10 000 mg/L de $CaCO_3$

Les options de tous les analyseurs sont les suivantes :

- Analyse de voies multiples (1 à 8 voies) réduisant le coût par point d'échantillonnage
- Sorties analogiques et/ou numériques pour la communication

Solutions de mesure de laboratoire

Combiné avec le système de test en cuve LCK, le spectrophotomètre de laboratoire DR3900 simplifie l'analyse de l'eau pour des résultats précis.

Titrateurs de laboratoire automatiques AT1000

www.fr.hach.com

DOC043.77.30614.Feb20

HACH® Be Right™