Le processus Nereda® : traitement des eaux usées par biomasse granulaire aérobie

Introduction

L'un des aspects les plus importants du procédé à boues activées réside dans la séparation de la biomasse et de l'eau traitée. Outre le développement de techniques de séparation physique (bioréacteurs à membrane), l'amélioration des propriétés de précipitation de la boue activée est l'un des sujets majeurs de recherche. La qualité essentielle pour des propriétés de précipitation satisfaisantes est une structure granulaire composée de grosses particules compactes et denses à haute densité.

Découverte en 1995 puis développée par Mark van Loosdrecht de l'Université de technologie de Delft (DUT), le procédé aérobie à biomasse granulaire pour le traitement des eaux usées a été déployé au niveau industriel et repensé pour répondre aux applications commerciales par l'entreprise néerlandaise de génie civil Royal HaskoningDHV, avant d'être commercialisé sous le nom de Technologie Nereda®.

La technologie Nereda®, appliquée à diverses installations industrielles et municipales, a prouvé sa résistance et sa stabilité. Les premières applications industrielles complètes datent de 2005, alors que la technologie était encore en phase de déploiement pour les infrastructures municipales. Suite aux stations de démonstration en Afrique du Sud et au Portugal, une application municipale complète de Nereda® a été initiée en 2011 à la station d'épuration d'Epe (59 000 EH) puis en 2013 à la station de Garmerwolde (140 000 EH). Les deux stations ont montré des avancées significatives en termes de stabilité du processus, de la qualité de l'effluent (p.ex. : Epe enregistre une quantité d'azote global [NGL] <5 mg/L et de phosphore total [PT] <0,3 mg/L), et d'économie d'énergie (>30 %), par rapport au procédé à boues actives conventionnel. Depuis lors, un total de 25 stations Nereda® et 8 unités éprouvées sont en place ou en cours de conception, pour des capacités allant de 15 000 EH à 950 000 EH.

Biomasse granulaire aérobie

La conception et les mécanismes de contrôle du processus Nereda® favorisent la formation de granules plutôt que de flocs. Les granules aérobie sont définies comme étant des « agrégats d'origine microbienne qui ne coagulent pas lors d'un cisaillement hydrodynamique réduit et qui précipitent beaucoup plus rapidement que les flocs dans un procédé à boues activées conventionnel*. » La caractéristique première de ces granules est leur diamètre de 0,2 mm et leur indice de boues (IB5) de 5 minutes alors que l'IB des boues activées est fixé à 30 minutes (IB30).

La biomasse granulaire aérobie offre plusieurs avantages par rapport aux flocs du procédé à boues activées conventionnel, notamment une capacité accrue de précipitation qui permet une meilleure rétention et une plus grande concentration de la biomasse. De plus, les particules formées présentent une matrice structurelle qui favorise la croissance de la biomasse, composée de sphères en conditions aérobie, anoxie et anaérobie qui sont peuplées de divers organismes, parmi lesquels les micro-organismes accumulateurs de polyphosphate (PAO), les bactéries nitrifiantes et dénitrifiantes, et les micro-organismes accumulateurs de glycogène (GAO).

Cette caractéristique permet d'exécuter simultanément les procédés nécessaires à l'élimination des nutriments, raison principale du gain de place et de la simplicité du procédé global.

** Premier atelier sur les granules aérobie, Munich 2004*

Le processus Nereda®

Le processus Nereda® repose sur l'optimisation du cycle d'un réacteur biologique séquentiel (RBS) où les 4 étapes traditionnelles du cycle ont été réduites à 3 étapes (voir Figure 1) :

1. Remplissage/vidage simultanés : au cours de cette étape, les eaux usées sont envoyées dans le réacteur grâce à une pompe et, dans le même temps, l'effluent est aspiré.
2. Aération : la conversion biologique a lieu pendant cette phase. Les bactéries nitrifiantes s'accumulent sur la couche externe des granules aérobie. Le nitrate ainsi formé est dénitrifié en conditions anoxiques, au cœur des granules. Enfin, le phosphore est absorbé.
3. Clarification : après les procédés biologiques, une phase de clarification est nécessaire pour séparer l'effluent des boues. Cette étape nécessite peu de temps en raison des excellentes propriétés de précipitation des boues. Le système est ensuite prêt pour accomplir un nouveau cycle.

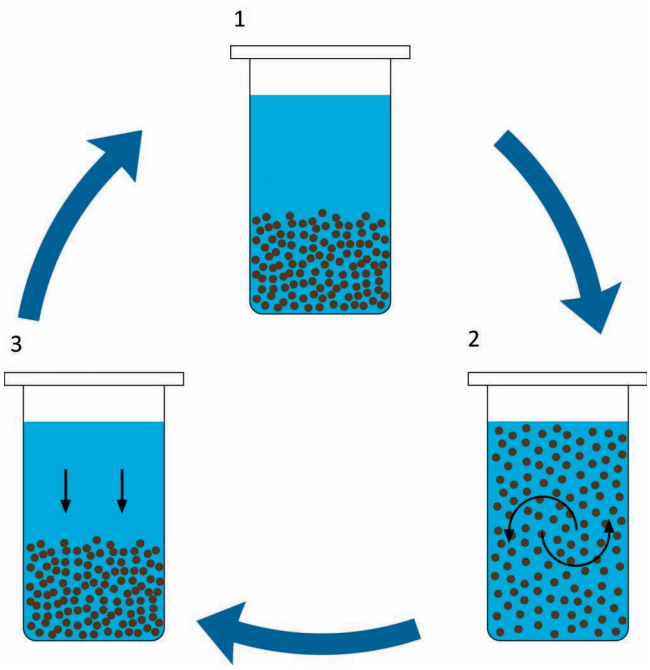

Figure 1 : Le cycle Nereda® :
1. Remplissage/vidage simultanés, 2. Aération, 3. Clarification

Les principaux avantages de Nereda® peuvent être résumés de la façon suivante :

Economique
- Design compact et simple sous forme de réservoir
- Equipement mécanique restreint
- Aucun clarificateur séparé nécessaire

Facile d'utilisation
- Procédé résistant et fiable
- Possibilité d'automatiser la station dans son ensemble

Durable
- Effluent d'excellente qualité et élimination efficace des nutriments
- Pas ou peu de produits chimiques utilisés
- Economie d'énergie significative

Contrôle du procédé Nereda®

En fonction de l'effluent demandé et de l'efficacité énergétique, le contrôle du procédé Nereda® est optimisé grâce à des analyseurs en ligne qui mesurent les concentrations d'ammonium, d'ortho-phosphate et d'oxygène, et le potentiel d'oxydo-réduction (rH). Si l'effluent doit répondre à des critères moins stricts, les principaux paramètres contrôlés sont l'oxygène et le potentiel d'oxydo-réduction. Comme pour tout contrôle avancé, il est primordial que les mesures effectuées soient d'une fiabilité indiscutable.

A la station d'épuration d'Epe, l'exactitude des mesures d'ammonium, de phosphate et de nitrate est assurée par un système diagnostique prédictif appelé Prognosys qui surveille et interprète les signaux internes de l'instrument utilisé afin de renseigner l'utilisateur sur son état. Les résultats sont présentés sous forme d'une valeur en pourcentage, afin d'informer l'opérateur des besoins de maintenance avant que les mesures prises ne perdent en fiabilité et que votre processus en soit affecté.

L'ammonium et le phosphate sont mesurés au moyen des analyseurs Amtax sc (NH_4^+) ou de Phosphax sc (PO_4^{3-}) dédiés à un usage extérieur. Ces appareils ne mesurent pas directement au sein du système ; un échantillon est prélevé via une pompe dans le réacteur Nereda, avant d'être préfiltré (<0,45 micromètres) dans un module auto-nettoyant puis transporté vers l'analyseur. Les deux appareils proposent un délai d'analyse d'environ 5 minutes. Les capteurs d'oxygène (LDO sc) et de pH/rH (pHD-S sc) peuvent être directement placés au sein du système et fournir ainsi des mesures en temps réel.

La Figure 2 présente sous forme de courbes de tendance les différents signaux de capteurs et d'analyseurs lors de la phase d'aération. On peut voir qu'au cours de l'aération, la concentration d'oxygène reste constante alors que les quantités d'ammonium et d'ortho-phosphate diminuent. Le signal du potentiel d'oxydo-réduction augmente en fonction du coefficient d'espèces oxydées par rapport aux formes réduites.

Sur les sites d'Epe et de Garmerwolde, l'un des paramètres importants pour le contrôle de la phase d'aération du procédé Nereda® est la concentration de NH_4^+ mesurée par l'analyseur Amtax sc. L'exactitude des mesures, notamment de NH_4^+, est contrôlée en continu par Prognosys et classée en fonction des pourcentages obtenus afin de proposer une sorte d'indicateur de mesure. Si la valeur de l'indicateur de mesure (initialement à 100 %) commence à décroître, l'opérateur a assez de temps pour agir avant que les résultats ne perdent en fiabilité. Si l'indicateur présente une valeur inférieure à 50 %, une stratégie alternative visant à contrôler l'aération est appliquée. Elle consiste à utiliser la valeur en mV donnée par le capteur rH comme signal de secours.

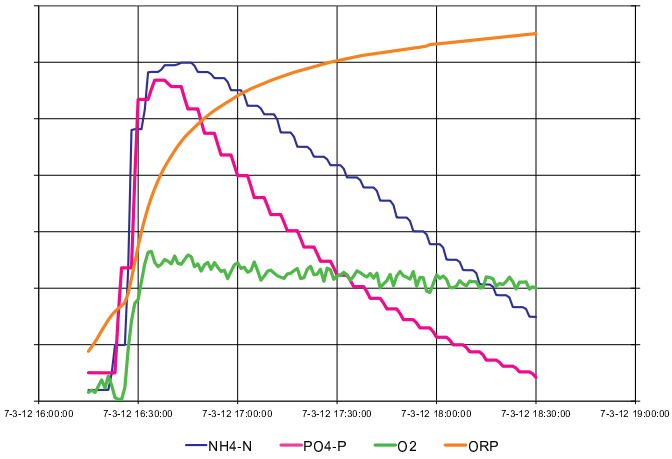

Figure 2 : Courbes de tendance à partir de mesures en ligne lors du cycle d'aération du procédé Nereda®

Transfert des données et communication

Toutes les mesures de signaux effectuées sur un réacteur sont captées par un seul transmetteur SC1000. Le réseau TCP/IP est utilisé pour la communication entre le transmetteur et AquaSuite® l'automate programmable de Nereda® . Le transmetteur et les instruments associés peuvent ainsi être surveillés à distance via le réseau. Par conséquent, les valeurs mesurées et l'état des instruments fournis par Prognosys peuvent être consultés et des opérations de maintenance telles que l'étalonnage peuvent être lancées à distance.

Résultats de la station d'épuration d'Epe, aux Pays-Bas

La station d'épuration d'Epe est une installation de traitement complète conçue et construite par Royal HaskoningDHV au cours des années 2010 et 2011. Elle est en fonction depuis septembre 2011. L'infrastructure de traitement comprend les procédés clés suivants : une station d'alimentation avec filtres et dessableurs, suivie de trois réacteurs Nereda® avec polissage des effluents via des filtres à sable par gravité. Les réacteurs Nereda® sont conçus pour traiter un volume journalier moyen de 8 000 m^3/jour, avec un débit de pointe de 36 000 m^3/jour. Les boues d'épuration sont ensuite épaissies à l'aide d'un épaississeur à courroie. Les performances de la station sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Résultats du contrôle de procédé effectué de mars à mai 2012 à la station d'épuration d'Epe

Paramètre	Influent [mg/L]	Effluent – moyenne [mg/L]	Effluent (95e centile)
DCO	879	27	32
DBO	333	<2,0	<2,0
N-Kjeldahl	77	1,4	1,8
NH_4-N	54	0,1	0,1
NGL		<4,0	5,1
PT	9,3	0,3	0,34
Solides en suspension	341	<5,0	<6,0

L'un des principaux avantages de Nereda® est l'économie d'électricité. A Epe, la station initiale consommait environ 3 500 kWh/jour. Grâce au procédé Nereda®, la consommation journalière moyenne est comprise entre 2 000 kWh et 2 500 kWh, soit environ 35 % de moins que toutes les autres infrastructures conventionnelles de taille similaire installées aux Pays-Bas.

Conclusions

Les stations Nereda® mises en place ont montré que cette technologie est capable de traiter les eaux usées de manière à respecter la quantité totale d'ammoniac et d'azote, et plus particulièrement encore les limites de phosphore imposées à l'heure actuelle, de même que les directives européennes à venir dans le secteur de l'eau. En outre, le procédé répond à ces normes de traitement tout en nécessitant moins de dépenses d'investissement (taille de l'installation, empreinte) et d'exploitation (énergie, produits chimiques) que les stations conventionnelles disponibles sur le marché.

Auteurs :
Andreas Giesen
Royal HaskoningDHV, PO Box 1132, 3800 BC Amersfoort, Pays-Bas
Pour plus d'informations : Nereda@rhdhv.com

Andreas Schroers
Hach, Willstaetterstrasse 11, 40549 Duesseldorf, Allemagne

Références :
Giesen A. and Thompson A., (2013) Aerobic granular biomass for cost-effective, energy efficient and sustainable wastewater treatment, 7th European Waste Water Management Conference

DOC043.77.30252.Jun15