



Mesure optique de la concentration d'oxygène dans l'eau

L'optimisation du transfert d'oxygène est un élément essentiel des stratégies de contrôle et de régulation dans les installations de traitement des eaux usées municipales et industrielles.

En 2003, HACH LANGE est le premier fabricant d'instruments à lancer la méthode de mesure → **LDO** (**L**uminescent **D**issolved **O**xygen) permettant de déterminer → l'*oxygène dissous* dans l'eau. La technologie LDO se base sur l'utilisation d'une lumière bleue qui offre de nombreux avantages, tels qu'une haute précision, une longue durée de vie et des frais d'entretien réduits au minimum. Depuis son introduction, les avantages de cette méthode lui ont permis de prendre le pas sur les méthodes électrochimiques conventionnelles. Ce rapport décrit les connaissances techniques et l'expérience pratique de milliers d'utilisateurs dans le monde.

Auteur : Dr. Michael Häck
Spécialiste des applications en eaux usées, mesures en continu
HACH LANGE, Düsseldorf



Principe de fonctionnement du capteur LDO

L'oxygène est un paramètre de contrôle important pour les installations de traitement des eaux usées.

Les capteurs électrochimiques doivent être régulièrement étalonnés, entretenus et nettoyés pour éviter tout risque de dérive.

La méthode de mesure optique LDO supprime les inconvénients des capteurs électrochimiques.

Le capteur LDO robuste exige peu d'entretien et fiable.

Analyse de l'oxygène dans les installations de traitement des eaux usées

Le contrôle et la régulation de la dégradation carbonique, de la nitrification et de la dénitrification dépendent essentiellement de la détermination de la concentration en oxygène dans le bassin d'aération. Pour les opérateurs d'installations de traitement des eaux usées, la question n'est donc pas de savoir si la concentration en oxygène dans les boues actives doit être mesurée en continu, mais simplement quelle est la meilleure méthode.

Les méthodes électrochimiques de mesure de l'oxygène ont pour caractéristiques une passivation de l'anode et une consommation d'électrolyte continues. Ces deux phénomènes entraînent inévitablement une dérive des valeurs de mesure, produisant ainsi des erreurs de mesure négatives systématiques. Ces effets ne peuvent être que limités par des étalonnages et des remplacements d'électrolyte réguliers.

Un tout nouveau type de capteur d'oxygène a été développé et lancé en 2003 : le capteur LDO HACH LANGE. Il se base sur la luminescence d'un lumi-

nophore et mesure la concentration en oxygène en réalisant une mesure du temps purement physique. Comme cette mesure du temps est exempte de dérive, l'utilisateur ne doit pas étalonner le capteur. Cela permet donc de remédier aux principaux inconvénients des cellules de mesure électrochimiques. La plus importante caractéristique de la méthode de mesure optique est l'obtention de valeurs de mesure stables et précises sur une très longue durée. Par ailleurs, l'entretien nécessaire est, lui aussi, considérablement réduit.

Méthode de mesure optique

La méthode optique de mesure de l'oxygène dissous élimine les inconvénients liés aux méthodes de mesure électrochimiques traditionnelles. Le principe LDO repose sur le phénomène physique de luminescence. Il s'agit de la propriété qu'ont certains matériaux à émettre de la lumière lorsqu'ils sont excités par un stimulus autre que la chaleur. Dans le cas du principe LDO, la lumière joue le rôle de stimulus. En associant un luminophore approprié à une longueur d'onde adéquate de lumière d'excitation, l'intensité de la luminescence et le

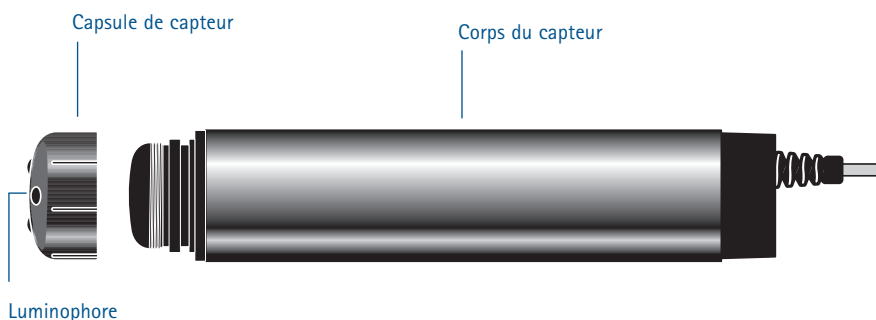


Fig. 1 : Capteur LDO avec bouchon de capteur

temps qu'elle met à s'estomper dépendent de la concentration en oxygène autour du matériau.

Le capteur LDO HACH LANGE est constitué de deux composants (Fig. 1) : la capsule du capteur avec le revêtement du luminophore sur un matériau conducteur transparent et le corps de la sonde équipé d'une DEL bleue qui émet la lumière déclenchant la luminescence, d'une DEL rouge jouant le rôle d'élément de référence, d'une photodiode et d'une unité électronique.

La capsule du capteur est vissée sur le corps de la sonde et immergée dans l'eau. Les molécules d'oxygène de l'échantillon sont donc en contact direct avec le luminophore.

Pour réaliser une mesure, la DEL d'excitation transmet une impulsion de lumière bleue. La lumière bleue riche en énergie permet de réaliser des mesures de haute précision. L'impulsion de lumière (50 ms) traverse le matériau transparent situé sur le luminophore, auquel il transfère une partie de son énergie. Certains électrons situés dans le luminophore passent alors de leur niveau d'énergie de base à un niveau supérieur. En quelques microsecondes,

ils reviennent ensuite à leur niveau d'origine en passant par une série de niveaux intermédiaires, émettant ainsi l'énergie perdue sous la forme de lumière rouge (Fig. 2).

Lorsque les molécules d'oxygène sont en contact avec le luminophore, deux effets se produisent :

Premièrement, les molécules d'oxygène peuvent absorber l'énergie des électrons de niveau supérieur et leur permettre de revenir à leur niveau d'énergie de base sans émettre de lumière. Plus la concentration en oxygène est élevée, plus la réduction de l'intensité de la lumière rouge émise est importante.

Les molécules d'oxygène provoquent aussi des « chocs » dans le luminophore, de sorte que les électrons retombent plus rapidement du niveau d'énergie supérieur. La durée de vie de la lumière rouge émise est donc raccourcie.

Ces deux phénomènes portent le nom d'extinction. La Figure 4 représente leurs effets : l'impulsion de lumière transmise par la DEL bleue au moment $t=0$ frappe le luminophore, qui réagit immédiatement en émettant de la lumière

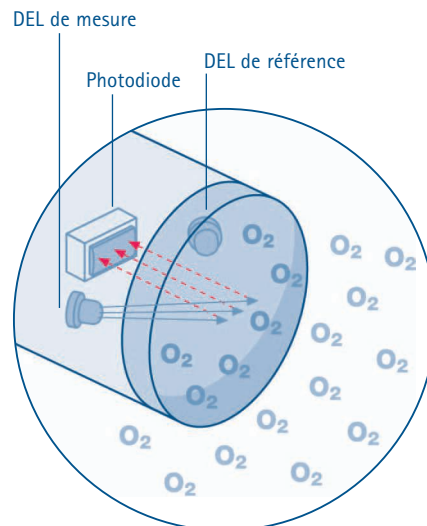


Fig. 2 : Principe de fonctionnement du capteur LDO HACH LANGE



Fig. 3 : DEL bleue et rouge dans le capteur

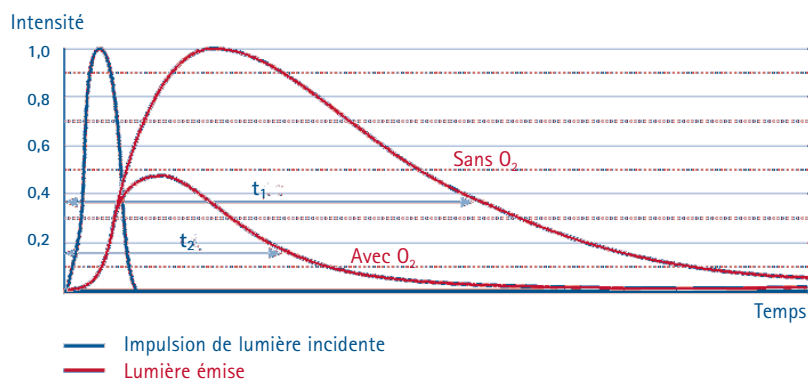


Fig. 4 : Intensité de la lumière d'excitation bleue et de la lumière rouge émise dans le temps

La lumière bleue à forte énergie produit des signaux de mesure haute résolution. La lumière bleue offre donc une précision élevée qui ne peut pas être obtenue avec une lumière à faible énergie (par exemple, de la lumière verte).

Avantages du capteur LDO

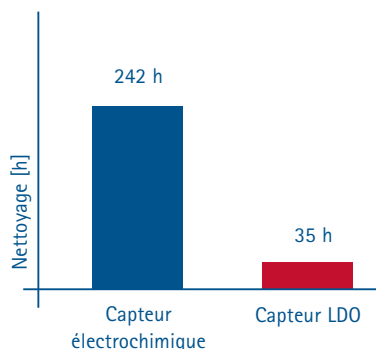


Fig. 5 : Nettoyage annuel standard dans une installation de traitement des eaux usées possédant 12 sondes d'oxygène

Le système de mesure LDO est auto-contrôlé avant chaque mesure.



Fig. 6 : La surface de la sonde est facile à nettoyer.

re rouge. L'intensité maximale (I_{max}) et la durée d'émission de la lumière rouge dépendent de la concentration en oxygène aux alentours (la durée d'émission désigne ici le temps qui s'écoule après l'excitation avant que l'intensité de la lumière rouge revienne à moins de 2/5ème de l'intensité maximale).

Pour déterminer la concentration en oxygène, la durée de vie t de la lumière rouge est mesurée. La mesure de l'oxygène se base donc sur une mesure purement physique du temps.

Le choix d'une impulsion de lumière d'excitation bleue entraîne l'émission d'une luminescence rouge intensive facile à mesurer, garantissant ainsi une plage de mesure étendue et une limite de détection basse.

Le capteur est auto-contrôlé en permanence à l'aide de la DEL de référence rouge située dans la sonde. Avant chaque mesure, elle transmet un faisceau de lumière dont les caractéristiques de rayonnement sont connues, qui se reflète au niveau du luminophore et traverse l'intégralité du système optique de la même manière que la lumière de luminescence.

Avantages de la technologie LDO

Les méthodes électrochimiques existantes de mesure de l'oxygène dissous exigent un entretien régulier de la part de l'utilisateur. Le nettoyage, l'étalonnage, le remplacement de la membrane et de l'électrolyte, le polissage de l'anode et le suivi de ces activités sont considérés comme des tâches nécessaires et inévitables, car c'est le seul moyen de se maintenir dans les limites malgré la tendance des capteurs à fournir des dérives négatives. Etant donné l'absence de toute méthode alternative et l'importance du paramètre de l'oxygène dans les installations de traitement des eaux usées biologiques, les utilisateurs se sont largement résignés à accepter ce

travail supplémentaire.

La nouvelle méthode de mesure optique constitue une alternative. En comparaison avec les méthodes électrochimiques, les méthodes optiques offrent aux utilisateurs des avantages considérables en termes de qualité des valeurs de mesure et de quantité d'entretien nécessaire (Fig. 5).

Aucun étalonnage

La méthode LDO optique mesure la concentration en oxygène sur la base d'une mesure du temps exempte de dérive. Toute usure ou blanchissement par la lumière du luminophore situé sur la capsule du capteur influence l'intensité, et non la durée de la lumière rouge émise, qui dépend uniquement de la concentration en oxygène de l'échantillon. Tous les composants optiques sont réglés avant chaque mesure en référence à une impulsion de lumière provenant de la DEL rouge, qui emprunte exactement la même trajectoire que la luminescence émise. Tout risque d'étalonnage incorrect par l'utilisateur est ainsi écarté.

Aucun remplacement de membrane ou d'électrolyte

Avec la méthode LDO, l'électrolyte, les électrodes et la membrane sont remplacés par un revêtement sensible à l'oxygène sur la capsule du capteur. Il suffit à l'utilisateur de remplacer la capsule tous les deux ans.

Mesure de haute précision

La lumière d'excitation bleue riche en énergie garantit une précision élevée et constante des mesures du capteur LDO.

Aucun mouvement de l'échantillon requis

Les méthodes de mesure électrochimiques déterminent le courant ou la tension résultant de la réduction de l'oxygène en ions d'hydroxyde au niveau de la cathode. Pour compenser cette « consommation d'oxygène », les molécules d'oxygène doivent diffuser en continu dans les électrolytes. Un appauvrissement des molécules d'oxygène à proximité directe du capteur ne peut être évité qu'en maintenant l'échantillon en mouvement autour de celui-ci.

La méthode LDO n'implique aucune consommation d'oxygène. Les molécules d'oxygène doivent simplement rester en contact avec la couche sensible à l'oxygène. L'échantillon ne doit pas être maintenu en mouvement autour du capteur.

Méthode non affectée par la contamination

Si la diffusion de l'oxygène dans cellule de mesure électrochimique est limitée en raison d'un encrassement de la membrane, on obtient des résultats à erreur négative systématiquement. Le principe de la mesure LDO n'implique aucune consommation d'oxygène. L'encrassement par un matériau qui ne consomme pas d'oxygène augmente donc simplement le temps de réaction, mais n'entraîne pas de résultats sous estimé.

Aucun empoisonnement du capteur au H₂S

Le H₂S gazeux entraîne la formation d'une couche de sulfite d'argent pratiquement insoluble sur l'anode des cellules électrochimiques. Ces dernières deviennent alors inutilisables. Le luminophore LDO résiste au H₂S et à de nombreux autres produits chimiques. Par conséquent, le capteur peut être utilisé sans aucun problème pour des applications difficiles.

Temps de réaction rapides

La méthode optique exige uniquement que les molécules d'oxygène restent en contact avec le luminophore. Les temps de réaction de la méthode de mesure optique sont donc exprimés en secondes. Le transmetteur peut ensuite moyenner le signal de façon programmable.

Excellente sensibilité en présence de faibles concentrations en oxygène

La sensibilité de l'effet de mesure (changement de durée de vie de la luminescence/changement de concentration en oxygène ($\Delta\tau / \Delta c_{O_2}$)) augmente au fur et à mesure que la concentration en oxygène diminue. Ce principe de mesure offre donc une résolution particulièrement élevée même pour les mesures basses valeurs.

Capteur robuste

La capsule du capteur LDO est particulièrement résistant aux pressions mécaniques. Toute rupture de membrane pendant le fonctionnement ou lorsque l'utilisateur réalise une tâche de nettoyage est exclue.

Longue durée de vie du capteur

L'impulsion de lumière d'excitation bleue est la garantie d'une luminescence intensive, mais également d'une durée de vie extrêmement longue de la capsule du capteur. Fort de sa longue expérience, HACH LANGE offre une garantie de 24 mois pour la capsule du capteur !



Fig. 7 : Le capteur LDO fonctionne normalement, même dans les environnements les plus exigeants. L'entretien est réduit au strict minimum.

**GARANTIE
DE 24 MOIS!**

Pour réaliser une mesure, la DEL d'excitation transmet une impulsion de lumière bleue. Cette brève impulsion riche en énergie sollicite au minimum le luminophore et garantit l'obtention de valeurs fiables, et ce pendant bien plus de deux ans !

Résultats de mesure

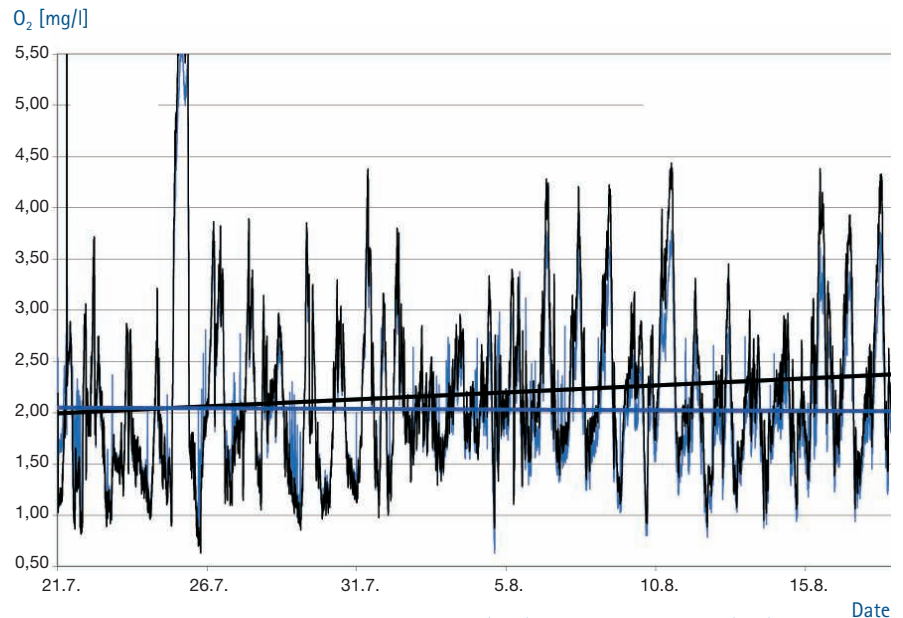


Fig. 8 : Comparaison entre un capteur électrochimique (bleu) et un capteur optique (noir)

Le capteur LDO réalise des mesures plus fiables que les capteurs conventionnels et réduit les coûts d'énergie.

Résultats de mesure

La Figure 8 indique les résultats de mesure du capteur d'oxygène optique, ainsi que les mesures d'un capteur électrochimique traditionnel pendant une période de quatre semaines. Emplacement de mesure : le bassin d'aération d'une installation de traitement des eaux usées municipales.

L'oxygène est régulé sur la base des mesures du capteur électrochimique en place. Le transmetteur commande l'aérateur de sorte que la mesure du capteur électrochimique corresponde au point de consigne programmé. Si le capteur fournit une valeur inférieure à la concentration réelle, cela entraîne une concentration en oxygène élevée non souhaitable dans le bassin d'aération, qui n'est pas détectée par la boucle de régulation.

Dans l'exemple illustré ici, suite à l'erreur négative du capteur, la valeur moyenne de la concentration en oxygène

ne dans le bassin d'aération (représentée par la ligne droite noire) est supérieure de 0,4 mg/l à la moyenne souhaitée de 2 mg/l au bout de quatre semaines. Cette différence présente des inconvénients techniques pour le processus, tels que le report d'oxygène dans la zone de dénitrification. La concentration réelle en oxygène dans le bassin d'aération est indiquée par le nouveau capteur optique.

Il est conseillé d'éviter des concentrations en oxygène inutilement élevées dans le bassin d'aération, elles nuisent au rendement économique du processus. Selon la fiche de travail ATV A 131 [1, 2], l'énergie nécessaire à l'aération des boues actives est la suivante :

$$N \sim C_s / (C_s - C_x)$$

où

C_s : est la concentration de saturation en oxygène présumée et

C_x : est la concentration en oxygène.

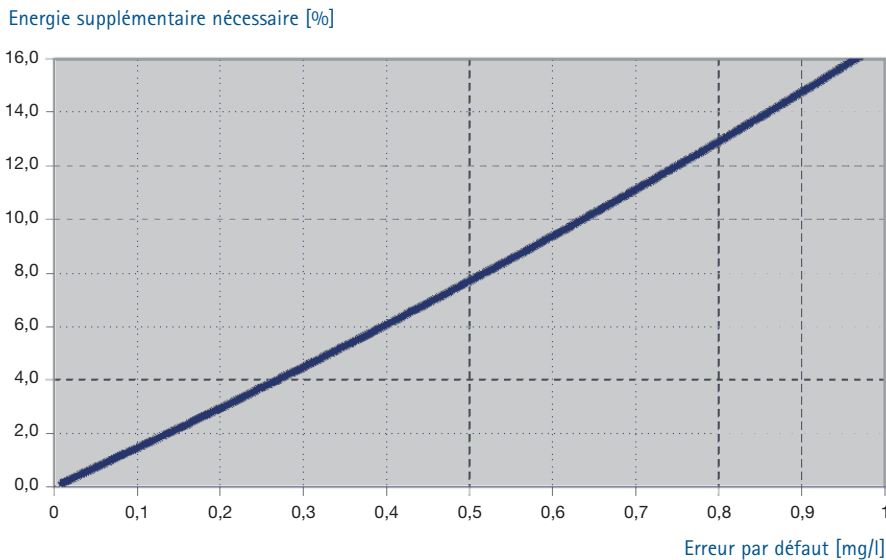


Fig. 9 : Energie supplémentaire nécessaire en raison de l'erreur par défaut dans les mesures de l'oxygène (sur la base d'une concentration en oxygène de 2 mg/l et d'une concentration de saturation de 9,0 mg/l)

Par conséquent, la demande d'énergie N et donc les coûts d'énergie pour le transfert de l'oxygène dans le bassin d'aération augmentent parallèlement à l'augmentation de la concentration en oxygène C_x .

La Figure 8 représente la consommation d'énergie superflue attribuée aux mesures d'oxygène avec dérive négative, avec une concentration de saturation en oxygène C_s de 9,0 mg/l et un point de consigne de 2,0 mg/l. Dans cet exemple, le fait que les mesures indiquent une concentration en oxygène inférieure de 0,4 mg/l à la valeur réelle a entraîné une augmentation de 6% de la consommation d'énergie.

Etant donné que 60–70% de la consommation d'énergie des installations de traitement des eaux usées sont utilisés pour aérer les boues activées, il est évident que ces dérives négatives systématiques doivent être supprimées.

Résumé

Les principales caractéristiques du capteur d'oxygène LDO optique de HACH LANGE sont l'impulsion d'excitation par une lumière bleue riche en énergie et l'autocontrôle permanent du système de mesure par un faisceau de référence rouge. Ces éléments font du capteur LDO l'instrument idéal de mesure de l'oxygène, avec une précision maximale même en faibles concentrations, des valeurs de mesure sans dérive extrêmement stables et un entretien minimal. Il suffit à l'utilisateur de remplacer la capsule du capteur tous les deux ans et de nettoyer occasionnellement le capteur. Conclusion : le capteur LDO remédie aux faiblesses des capteurs électrochimiques conventionnels et offre le meilleur système optique.



Fig. 10 : Le capteur LDO est également disponible en modèle portable pour utilisation sur le terrain et en laboratoire.

Bibliographie et données techniques

Bibliographie

- [1] Merkblatt ATV-DVWK -A 131:
Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen, Mai 2000
- [2] ATV Handbuch Betriebstechnik,
Kosten und Rechtsgrundlagen der Abwasserreinigung, Ernst & Sohn Verlag, 4. Aufl. 1995, S. 208-225
- [3] EPA Letter Recommendation of LDO Method 10360

Données techniques

Référence	LXV416.99.00001
Description	Sonde d'oxygène dissous par luminescence
Méthode de mesure	Luminescence, optique
Excitation	Impulsion de lumière bleue
Étalonnage	Pas nécessaire
Plages de mesure	0,1 – 20 mg/l (ppm) O ₂ ; 1 – 200 % de saturation en O ₂ ; 0,1 – 50 °C
Précision	± 0,1 mg/l O ₂ < 1 mg/l; ± 0,2 mg/l O ₂ > 1 mg/l
Reproductibilité	± 0,5 % de la valeur finale de la plage de mesure
Temps de réponse	T90 < 40 s (20 °C), T95 < 60 s (20 °C)
Plage de température	0 à 50 °C
Capteur de température	NTC intégré, correction automatique de la température
Câble du capteur	10 m avec connecteur à visser
Débit minimum	Aucun
Matériaux	NORYL, acier inoxydable 316
Dimensions (L x P)	292 x 60 mm (11,5 x 2,4 pouces)
Garantie	24 mois sur la sonde et la capsule
Kits de montage	En bassin, installation fixe ou montée sur chaîne ; installée sur rail ; en ligne à la demande ; en dérivation

Possibilité de modification sans avis préalable.

HACH LANGE Services



Une question technique ou commerciale, un conseil ou une information... Nous sommes à votre disposition.



Support sur site par notre équipe de techniciens.



Réduction des coûts de process grâce aux systèmes HACH LANGE.



www.hach-lange.fr contenu actualisé et sécurisé, avec téléchargements, informations et achats en ligne.



Maintenance garantie de tous les instruments grâce à des contrats de service et d'entretien flexibles.



Information de la clientèle par courrier postal ou électronique.