

Laccase enzyme CAS 80498-15-3 pour traitement des eaux usées : décoloration, phénols et micropolluants organiques

Équipe de recherche Enzymes.bio · Wellington, Nouvelle-Zélande · June 19, 2026

La laccase enzyme CAS 80498-15-3 est une oxydase multicopper utilisée comme biocatalyseur pour transformer des composés organiques oxydables dans les eaux usées, notamment certains colorants, phénols, chlorophénols et micropolluants aromatiques. Elle s'intègre surtout comme étape ciblée de prétraitement, de traitement complémentaire ou de polissage, et non comme solution unique pour tous les paramètres d'un effluent industriel ou municipal. Enzymes.bio fournit cette enzyme en ligne par unité de 1 kg ; le CoA et la SDS sont fournis avec la commande.

Comprendre la laccase pour le traitement des eaux usées

La laccase est une enzyme oxydative appartenant à la famille des oxydases multicopper. Dans le traitement des eaux usées, son intérêt vient de sa capacité à catalyser l'oxydation de nombreuses molécules organiques aromatiques ou phénoliques en utilisant l'oxygène comme accepteur final d'électrons. Les revues récentes sur les biocatalyseurs écoresponsables décrivent les laccases comme des outils prometteurs pour la remédiation environnementale, en particulier lorsque les procédés conventionnels ne ciblent pas efficacement certains polluants organiques persistants ^[1].

Le nom commercial « Laccase Enzyme For The Treatment Of Wastewater CAS 80498-15-3 » désigne donc une enzyme destinée à des applications professionnelles où la transformation de composés organiques oxydables est recherchée. Les publications couvrant quatre décennies de recherche montrent que la laccase est étudiée de manière soutenue pour les eaux usées, avec un accent marqué sur les colorants, les composés phénoliques, les micropolluants et les systèmes d'immobilisation enzymatique ^[2].

Ce positionnement doit rester précis. La laccase ne retire pas à elle seule l'azote, le phosphore, les sels dissous, les matières minérales, les métaux lourds ou l'ensemble de la demande chimique en oxygène d'un effluent complexe. Elle agit plutôt comme un catalyseur de transformation chimique sur certaines familles de molécules, dans une stratégie de traitement globale qui peut inclure biologie, filtration, adsorption, oxydation avancée, membranes ou zones humides construites selon le cas ^[3].

Enzymes.bio intervient comme fournisseur en ligne, et non comme fabricant ni laboratoire d'essais. Le produit est vendu directement par unité de 1 kg. Le certificat d'analyse et la fiche de données de sécurité accompagnent la commande, afin d'appuyer une utilisation professionnelle conforme aux contraintes du site et aux pratiques internes de gestion des produits enzymatiques.

Mécanisme d'action : oxydation enzymatique et rôle de l'oxygène

Le cœur du mécanisme de la laccase repose sur un transfert d'électrons. L'enzyme oxyde un substrat organique donneur d'électrons, tandis que l'oxygène dissous est réduit. Ce mode d'action explique l'intérêt de la laccase dans des procédés de traitement plus doux que certaines oxydations chimiques fortement réactives, car l'oxygène devient le réactif terminal central du cycle catalytique ^[4].

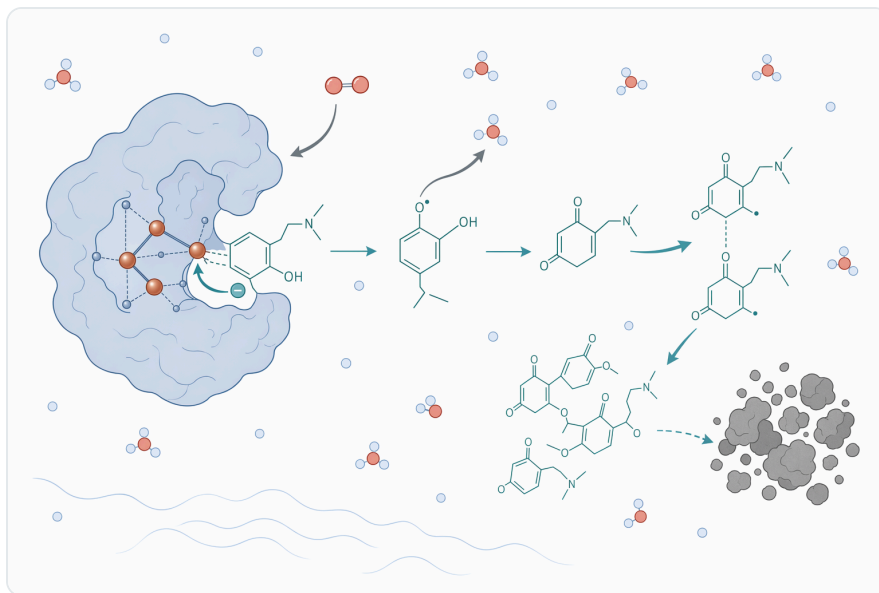


Figure 1. 라카아제는 산소를 물로 환원시키는 동시에 페놀성 오염물질과 염료 오염물질을 산화하며, 이 과정에서 종종 라디칼이 형성되어 서로 결합해 용해도가 낮은 생성물을 만든다.

Les substrats typiques incluent de nombreux composés aromatiques, phénoliques ou apparentés. Lorsqu'un polluant est oxydé, il peut former un radical, une quinone, un oligomère ou un produit plus réactif. Selon la structure chimique, la matrice et le procédé, cette transformation peut conduire à une décoloration, à une diminution de la toxicité, à une modification de la biodégradabilité ou à une meilleure séparation ultérieure par adsorption, coagulation ou filtration. Les résultats ne sont pas universels : deux colorants ou deux antibiotiques de familles différentes peuvent répondre très différemment à la même enzyme.

Dans certains cas, des systèmes laccase–médiateur sont étudiés. Le médiateur est une petite molécule oxydée par la laccase, qui peut ensuite oxyder indirectement des composés moins accessibles au site actif de l'enzyme. Cette approche est discutée dans la littérature sur la faisabilité des enzymes à base de laccase pour le traitement durable des eaux usées, mais elle demande une évaluation prudente, car le choix du médiateur influence le coût, l'écotoxicité potentielle et le devenir des produits de réaction [4].

La disponibilité en oxygène est donc un paramètre fonctionnel important. Dans un effluent fortement chargé, réducteur ou pauvre en oxygène dissous, l'oxydation enzymatique peut être limitée. À l'inverse, une configuration avec bon contact liquide–oxygène, temps de séjour approprié et conditions compatibles avec la stabilité de l'enzyme peut favoriser l'action catalytique. Ces éléments relèvent de l'intégration procédé plutôt que d'une propriété isolée du produit.

Polluants ciblés : où la laccase est la plus pertinente

Effluents textiles, colorants et eaux de teinture

La décoloration des effluents textiles est l'un des domaines les plus documentés pour les laccases. Les colorants synthétiques sont problématiques parce qu'ils sont visibles à faible concentration, peuvent limiter la pénétration de la lumière dans les milieux aquatiques et sont souvent conçus pour résister à la dégradation. Des travaux récents sur des laccases issues de champignons, dont *Trichoderma harzianum*, rapportent des applications en décoloration de colorants et en traitement d'eaux usées, illustrant la pertinence de cette classe enzymatique pour les effluents colorés [5].

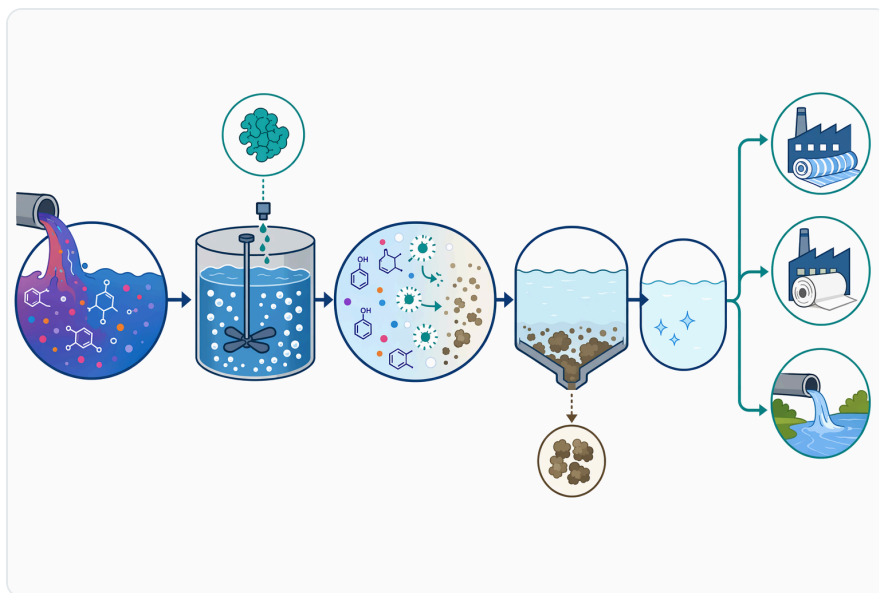


Figure 2. 일반적인 라카아제 기반 폐수 처리 공정은 색도와 산화 가능한 유기 오염물질을 줄이기 위해 효소와 폭기를 투입한 뒤 침전·분리 공정을 거친다.

La laccase peut intervenir sur différents types de structures chromophores, mais la performance dépend fortement du colorant. Les colorants azoïques, anthraquinoniques, indigoïdes ou réactifs ne présentent pas tous la même accessibilité oxydative. Certaines molécules sont transformées directement, tandis que d'autres nécessitent un système plus complexe, une immobilisation, un médiateur ou une combinaison avec adsorption ou oxydation avancée. Les études sur la dégradation enzymatique de colorants industriels soulignent l'intérêt de la laccase immobilisée comme biocatalyseur, mais aussi la nécessité d'adapter le procédé au polluant et à la matrice réelle [6].

Un résultat visuel de décoloration ne signifie pas automatiquement minéralisation complète. Une couleur réduite peut indiquer la rupture ou la modification d'un groupement chromophore sans disparition totale du carbone organique. Pour les utilisateurs industriels, il est donc plus exact de considérer la laccase comme un outil de transformation des colorants, à intégrer dans un schéma de traitement qui prend aussi en compte toxicité, biodégradabilité, charge organique et exigences de rejet.

Phénols, chlorophénols et composés aromatiques

Les composés phénoliques figurent parmi les cibles classiques des laccases. Leur structure chimique se prête au transfert d'électrons catalysé par l'enzyme, ce qui peut entraîner la formation de produits oxydés ou polymérisés. Les recherches sur des micro-réacteurs magnétiques et de la laccase immobilisée sur nanoparticules de magnétite ont par exemple porté sur le traitement des eaux usées, des phénols et des colorants, montrant l'intérêt de combiner catalyse enzymatique et support récupérable [7].

Les chlorophénols, comme le 2,4-dichlorophénol ou le p-chlorophénol, sont également étudiés. Des travaux sur la biotransformation du 2,4-dichlorophénol avec culture immobilisée de *Bacillus subtilis* halophile marine et enzyme laccase ont été appliqués au traitement des eaux usées, tandis que des membranes nanofibreuses portant de la laccase immobilisée ont été étudiées pour la dégradation du p-chlorophénol [8] [9]. Ces exemples sont importants car ils concernent des composés persistants et potentiellement toxiques, mais ils ne doivent pas être extrapolés sans nuance à tous les organochlorés.

Pour un site industriel, la question centrale est la compatibilité entre la structure du composé ciblé et le mécanisme oxydatif de la laccase. Les phénols simples, certains dérivés chlorés et des aromatiques activés peuvent être des candidats plus plausibles que des molécules non phénoliques très stables, très hydrophobes ou fortement inhibitrices. La présence de solvants, de sels, de surfactants ou d'oxydants résiduels peut aussi modifier la réponse enzymatique.

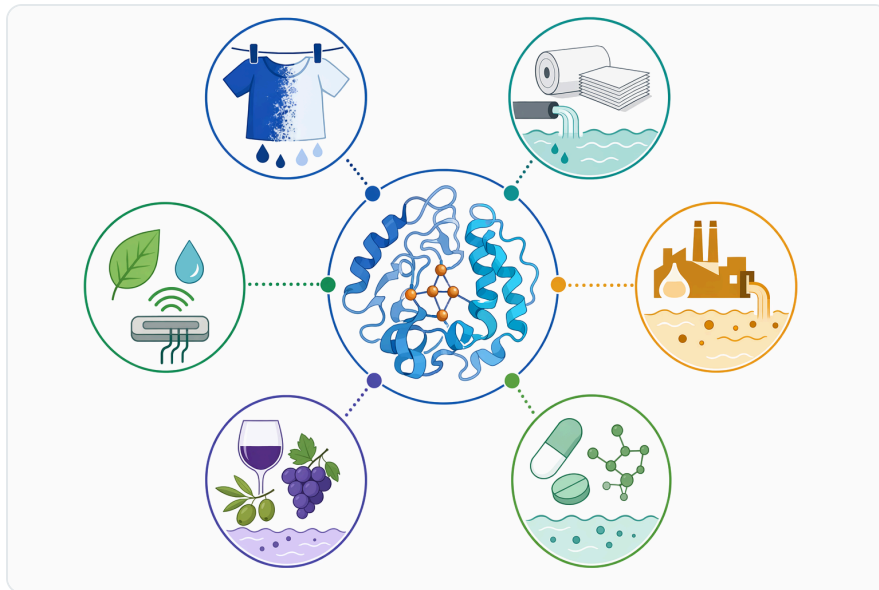


Figure 3. 폐수 처리용 라카아제는 염료, 제지, 페놀성 물질, 농산업 폐수 및 미량 유기 오염물질 처리 등 다양한 분야에 사용된다.

Micropolluants pharmaceutiques et antibiotiques

Les micropolluants pharmaceutiques suscitent un intérêt croissant dans le traitement des eaux municipales, hospitalières et industrielles. Une étude récente sur la remédiation de ciprofloxacine et norfloxacine par une laccase dérivée de déchets de champignon a examiné le devenir, la toxicité et la dégradation de ces fluoroquinolones dans les eaux usées, ce qui illustre la capacité de la recherche actuelle à relier transformation enzymatique et évaluation du risque ^[10].

Les membranes de microfiltration contenant de la laccase immobilisée sont également étudiées pour la remédiation de micropolluants. Ces approches cherchent à combiner séparation physique, rétention partielle et catalyse enzymatique afin d'augmenter le temps de contact entre enzyme et polluant tout en limitant la perte de biocatalyseur ^[11]. Le concept est particulièrement pertinent pour les effluents dilués, où les micropolluants sont présents à faibles concentrations mais peuvent avoir une importance environnementale.

La laccase ne doit toutefois pas être présentée comme un traitement universel des résidus pharmaceutiques. Les antibiotiques, anti-inflammatoires, antiseptiques, hormones et autres molécules pharmaceutiques diffèrent par leur potentiel redox, leur solubilité, leur charge, leur stabilité et leurs produits de transformation. L'intérêt de l'enzyme est donc ciblé : transformer certaines molécules réactives ou rendre une étape de traitement complémentaire plus efficace, plutôt que garantir l'élimination indistincte de tous les micropolluants.

Effluents papetiers et matrices industrielles oxydables

Les eaux usées de l'industrie papetière peuvent contenir des composés ligniniques, phénoliques, colorés ou aromatiques. Une étude sur la génotoxicité d'eaux usées de l'industrie du papier avant et après traitement par une souche productrice de laccase, *Pseudomonas putida* MTCC 7525, illustre l'intérêt de relier traitement enzymatique et réduction d'effets biologiques indésirables ^[12]. Cela ne signifie pas que la laccase remplace les traitements primaires ou biologiques d'une papeterie, mais qu'elle peut contribuer à transformer certaines fractions organiques problématiques.

Dans les effluents industriels complexes, la laccase est souvent plus pertinente lorsque le problème de traitement est bien défini : couleur résiduelle, composés phénoliques, aromaticité, toxicité liée à des substances oxydables ou micropolluants spécifiques. Elle est moins adaptée comme réponse unique à une charge globale très élevée, à une forte salinité, à des matières en suspension abondantes ou à des objectifs de récupération de nutriments.



Figure 4. 더 강한 조건이 필요한 화학적 산화나 응집 공정에 비해, 라카아제 처리는 비교적 온화한 조건에서 운전할 수 있으며 색을 유발하는 오염물질을 줄일 수 있다.

Tableau comparatif des principales applications en eaux usées

Domaine d'application	Polluants ou paramètres concernés	Rôle probable de la laccase	Points de vigilance	Niveau de preuve dans la littérature
Effluents textiles et de teinture	Colorants synthétiques,	Décoloration, oxydation de	Tous les colorants ne réagissent pas de la	Très documenté, avec de nombreux travaux

Domaine d'application	Polluants ou paramètres concernés	Rôle probable de la laccase	Points de vigilance	Niveau de preuve dans la littérature
	couleur résiduelle, composés aromatiques colorés	chromophores, transformation de colorants oxydables	même manière ; la décoloration ne garantit pas une minéralisation complète	sur laccases libres ou immobilisées [5] [6]
Eaux contenant des phénols	Phénol, dérivés phénoliques, certains chlorophénols	Oxydation en produits réactifs ou polymérisés ; réduction potentielle de la fraction dissoute	Produits de transformation à considérer ; influence forte de la matrice	Bien établi pour des modèles et plusieurs configurations d'immobilisation [7] [9]
Effluents pharmaceutiques ou hospitaliers	Certains antibiotiques et micropolluants aromatiques	Transformation ciblée, parfois renforcée par immobilisation ou médiateurs	Réactivité très variable selon la molécule ; besoin d'intégration dans une chaîne de traitement	Champ en expansion, avec études sur fluoroquinolones et membranes enzymatiques [10] [11]
Eaux papetières et effluents lignocellulosiques	Composés ligniniques, phénoliques, couleur, toxicité associée	Oxydation de fractions aromatiques et phénoliques	Matrices souvent complexes ; interférences possibles	Données encourageantes, notamment sur l'impact biologique avant/après traitement [12]
Polissage complémentaire	Traces organiques oxydables après traitement principal	Réduction ciblée de composés résiduels	Ne remplace pas les étapes de réduction de DBO, nutriments, sels ou solides	Compatible avec les stratégies hybrides de traitement avancé [13]

Laccase libre ou immobilisée : implications pour les procédés

La laccase peut être utilisée sous forme soluble ou immobilisée sur un support. Sous forme soluble, le contact avec les polluants est direct, mais la récupération de l'enzyme et sa réutilisation sont plus difficiles. Sous forme immobilisée, l'enzyme est fixée à une matrice solide, une membrane, une nanoparticule ou un matériau polymère ; cela peut améliorer la stabilité opérationnelle, faciliter la séparation du biocatalyseur et permettre des dispositifs continus ou semi-continus [\[13\]](#).

Les bioréacteurs à laccase immobilisée sont un sujet important de la littérature récente. Les revues spécialisées montrent que l'immobilisation vise à répondre à trois contraintes pratiques : maintien de l'activité dans le temps, réutilisation du biocatalyseur et intégration dans des architectures de traitement compatibles avec des effluents réels [13]. Cette approche est particulièrement attractive pour des applications de polissage où les concentrations de polluants sont faibles mais où le temps de contact et la stabilité du système sont critiques.

Les supports polymériques sont largement explorés. Une revue critique sur l'immobilisation de laccase avec des supports polymériques met en avant l'importance du choix du matériau, de l'interaction enzyme–support et de la conservation de l'activité catalytique après fixation [14]. Des membranes en acétate de cellulose, des nanofibres, des matériaux hybrides ou des supports magnétiques apparaissent dans différentes études, chacun avec ses avantages et limites en termes de transfert de masse, récupération, encrassement et compatibilité avec l'effluent.

Les matériaux avancés, y compris les structures hybrides à base de frameworks organométalliques, sont aussi étudiés pour immobiliser la laccase et dégrader des polluants industriels. Ces travaux montrent l'orientation actuelle de la recherche vers des biocatalyseurs plus robustes et plus faciles à intégrer, mais ils relèvent de développements procédés spécifiques et ne doivent pas être confondus avec une simple addition d'enzyme dans n'importe quel bassin [15].

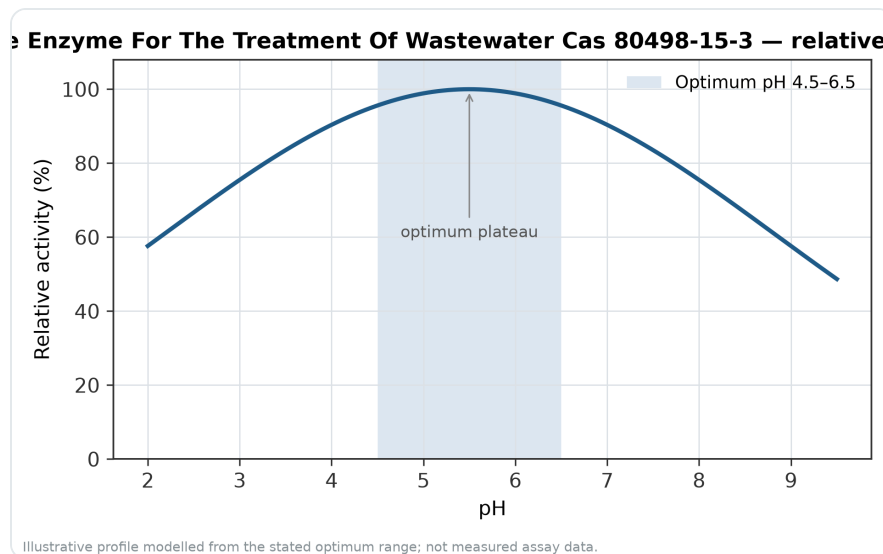


Figure 5. pH에 따른 Laccase Enzyme For The Treatment Of Wastewater Cas 80498-15-3의 상대 활성으로, pH 4.5–6.5에서 최적 활성 구간이 나타난다.

Intégration avec d'autres technologies de traitement

La laccase s'insère rarement seule dans une filière complète. Les stations et ateliers industriels combinent souvent plusieurs mécanismes : séparation des solides, neutralisation, traitement biologique, adsorption sur charbon ou biochar, membranes, oxydation avancée, désinfection et parfois valorisation de ressources. Les analyses récentes sur les traitements biologiques des eaux usées insistent sur les enjeux de faible carbone, d'énergie et de récupération de ressources, ce qui favorise des schémas hybrides plutôt que des solutions monofonctionnelles [3].

L'adsorption peut être complémentaire de l'enzymologie. Les biochars et matériaux carbonés sont étudiés comme substrats ou adsorbants dans les zones humides construites et biofiltres, avec des bénéfices potentiels sur la rétention de polluants et les performances écologiques [16]. Dans une logique hybride, l'adsorbant peut concentrer des composés organiques près d'un biocatalyseur ou réduire la charge interférente avant une étape enzymatique, même si chaque configuration demande une conception adaptée.

Les membranes constituent une autre voie d'intégration. Les bioréacteurs membranaires anaérobies offrent des avantages potentiels pour le traitement municipal, mais comportent aussi des contraintes comme l'encrassement, la gestion du méthane dissous et l'équilibre entre récupération d'énergie et qualité de l'eau traitée [17]. Dans ce paysage, une membrane fonctionnalisée par laccase représente une approche plus ciblée : elle ne remplace pas un bioréacteur, mais peut ajouter une fonction catalytique de remédiation de micropolluants ou de composés aromatiques.

Les procédés d'oxydation avancée, le dioxyde de titane activé par lumière visible, les nanomatériaux, les mousses catalytiques ou les frameworks organométalliques sont également étudiés pour la remédiation des eaux usées industrielles [18] [19] [20]. La laccase se distingue par sa nature biologique et son fonctionnement dans des conditions généralement plus douces, mais les procédés physico-chimiques peuvent être plus appropriés lorsque l'objectif est une oxydation non sélective, une désinfection poussée ou une minéralisation plus complète.

Conditions qui influencent l'efficacité de la laccase

L'efficacité d'une laccase dépend d'abord de la nature chimique des polluants. Les composés phénoliques et certains aromatiques activés sont plus compatibles avec son mécanisme que des molécules très stables ou peu accessibles. Dans les eaux usées réelles, le mélange de polluants peut créer des compétitions : certaines substances consomment l'activité enzymatique sans correspondre à l'objectif principal de traitement.

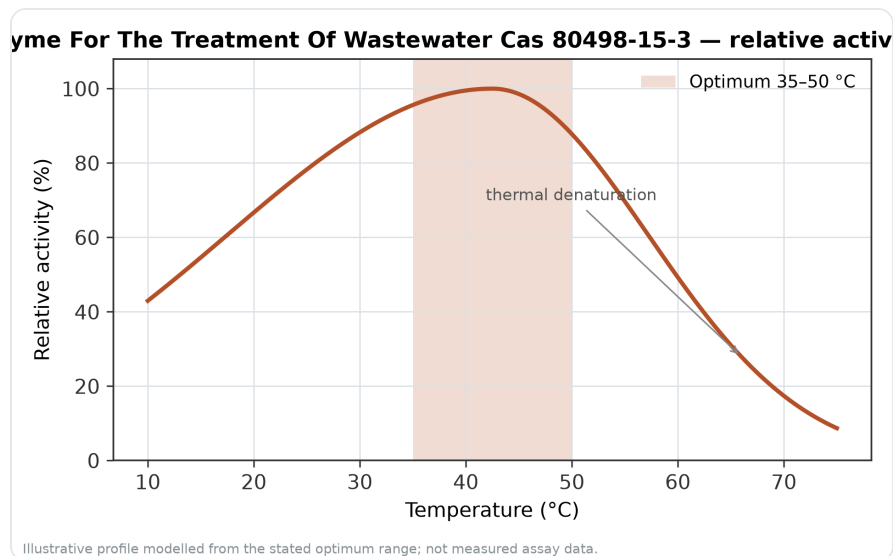


Figure 6. 온도에 따른 Laccase Enzyme For The Treatment Of Wastewater Cas 80498-15-3의 상대 활성으로, 35–50 °C에서 최적 활성을 보이며 최적 범위를 넘어서면 열 변성에 따른 전형적인 활성 감소가 나타난다.

Le pH, la température et la composition ionique influencent la conformation de l'enzyme, sa stabilité et la charge des substrats. Il ne faut pas réduire ces facteurs à une valeur unique : les laccases diffèrent selon leur origine biologique et leur formulation, et les effluents diffèrent selon les industries. Les études de caractérisation enzymatique, comme celles consacrées à des laccases isolées de nouvelles souches fongiques, montrent que ces paramètres sont systématiquement examinés pour relier l'activité catalytique à l'application de décoloration ou de traitement d'eaux usées [5].

La matrice de l'effluent peut favoriser ou inhiber l'action enzymatique. Les tensioactifs, solvants, sels, métaux, oxydants résiduels, agents réducteurs, matières en suspension et fortes charges organiques peuvent modifier la stabilité de l'enzyme ou détourner la réaction. Les effluents de production de colorants, de papier, de pharmacie ou d'adhésifs sont souvent hétérogènes, ce qui explique pourquoi les publications récentes sur les traitements industriels combinent fréquemment plusieurs étapes plutôt qu'un seul mécanisme [21].

Le temps de contact et le transfert de masse sont également déterminants. Une laccase immobilisée sur support peut être stable mais limitée par la diffusion des polluants vers le site actif. Une laccase en solution peut réagir plus directement mais être plus difficile à retenir. Les micro-réacteurs magnétiques et supports de magnétite illustrent cette tension entre accessibilité du substrat, stabilité du biocatalyseur et possibilité de récupération [7].

Bénéfices attendus et limites techniques

Le premier bénéfice pratique de la laccase est la transformation ciblée de composés organiques difficiles. Pour un effluent coloré ou phénolique, elle peut réduire la couleur, modifier des structures aromatiques et contribuer à une baisse de toxicité selon le cas. Les travaux sur la biodécoloration et l'abattement d'écotoxicité d'eaux issues de production de colorants dispersés avec une laccase de *Pycnoporus* montrent que la littérature ne s'intéresse pas seulement à l'aspect visuel, mais aussi aux effets écotoxicologiques après traitement [22].

Le deuxième bénéfice est la compatibilité avec des approches plus durables. Les laccases fonctionnent comme biocatalyseurs et peuvent limiter le recours à des oxydants chimiques agressifs dans certaines configurations. Cela s'inscrit dans les tendances actuelles du traitement biologique et de la bioraffinerie, où les procédés visent à réduire l'empreinte carbone, récupérer des ressources et combiner dépollution avec valorisation [3].

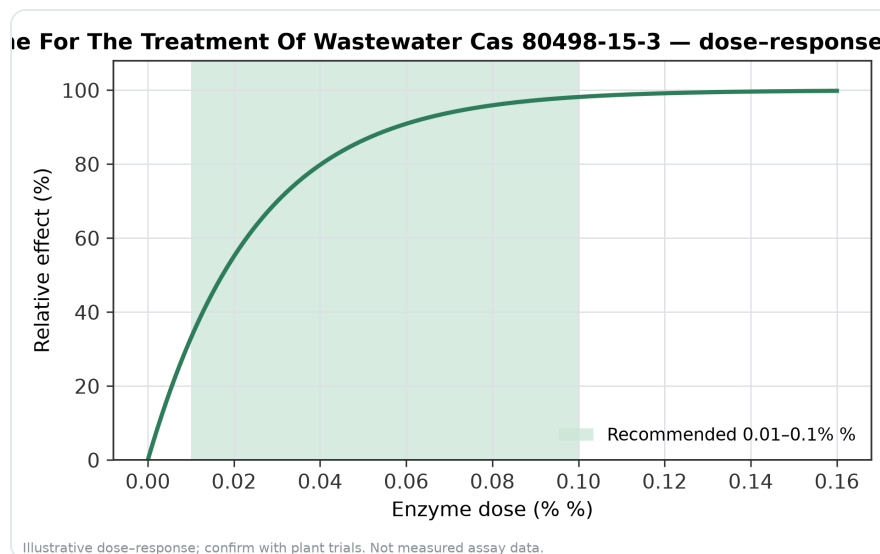


Figure 7. 권장 사용 범위(0.01-0.1%)에서 Laccase Enzyme For The Treatment Of Wastewater Cas 80498-15-3의 예시적 용량-반응 관계.

La principale limite est la sélectivité. Une enzyme sélective peut être très utile pour une famille de polluants et peu efficace pour une autre. Cette sélectivité impose de ne pas promettre une élimination générale de tous les contaminants. Les eaux usées agricoles, municipales et industrielles contiennent des polluants variés, et la transition vers des eaux traitées pour l'irrigation met en évidence à la fois des bénéfices sanitaires et environnementaux, mais aussi des risques résiduels à maîtriser [23].

Une autre limite concerne la stabilité et la durée de fonctionnement. Les enzymes sont sensibles à certaines conditions extrêmes ou inhibitrices. L'immobilisation peut améliorer l'opérabilité, mais elle ajoute des contraintes de support, de transfert de masse, de coût matériau et de gestion de

l'encrassement. Les revues sur les bioréacteurs à laccase immobilisée soulignent que le passage d'un résultat de laboratoire à une application continue exige une conception procédés rigoureuse [13].

Positionnement du produit Enzymes.bio

La laccase enzyme CAS 80498-15-3 proposée par Enzymes.bio convient aux applications professionnelles où l'objectif est de disposer d'un biocatalyseur oxydatif pour travailler sur des effluents contenant des colorants, phénols, composés aromatiques ou micropolluants organiques oxydables. Le produit est vendu directement en ligne par unité de 1 kg. Le CoA et la SDS sont fournis avec la commande.

Enzymes.bio doit être compris comme fournisseur, non comme fabricant et non comme laboratoire. Les performances en traitement des eaux usées dépendent de la matrice, des polluants, de la configuration du procédé, du contact avec l'oxygène et des conditions d'utilisation. Les données scientifiques disponibles soutiennent fortement l'intérêt des laccases pour la décoloration et les composés phénoliques, et de manière croissante pour certains micropolluants pharmaceutiques, mais elles ne justifient pas une promesse universelle d'abattement de tous les contaminants [2] [4].

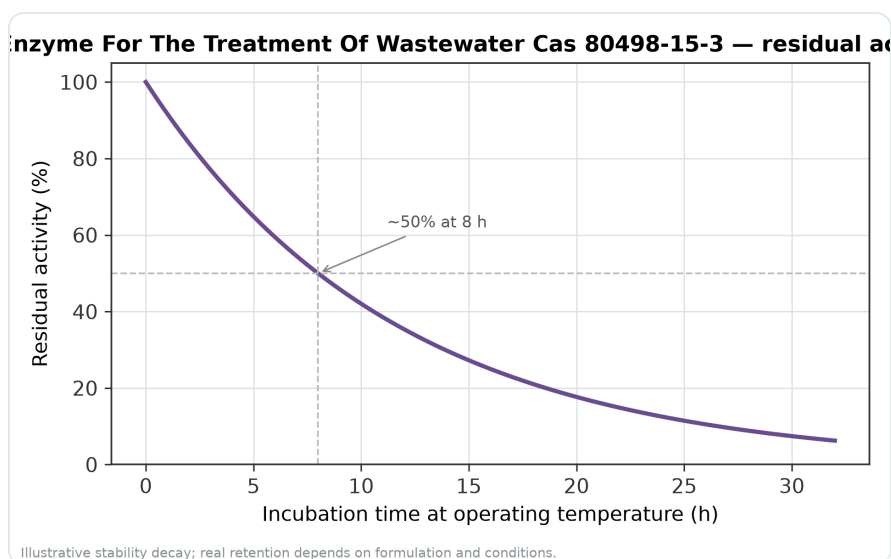


Figure 8. Laccase Enzyme For The Treatment Of Wastewater Cas 80498-15-3의 예시적 열 안정성 감소 곡선 — 운전 온도에서 시간이 지남에 따라 잔존 활성이 감소한다.

Dans une stratégie industrielle réaliste, la laccase se positionne comme une brique de traitement enzymatique ciblé. Elle peut compléter une filière biologique, une adsorption, une membrane ou un procédé d'oxydation avancée lorsque la problématique est liée à des molécules organiques oxydables.

Cette approche est cohérente avec les orientations actuelles du traitement des eaux usées, qui privilégient des combinaisons de technologies adaptées à la nature réelle des effluents plutôt qu'une solution unique appliquée indistinctement à tous les cas ^[3].

Conclusion technique

La laccase enzyme CAS 80498-15-3 est un biocatalyseur pertinent pour le traitement ciblé d'eaux usées contenant des composés organiques oxydables. Son mécanisme d'oxydation multicopper, utilisant l'oxygène comme accepteur final d'électrons, explique son intérêt pour la décoloration de colorants, l'oxydation de phénols et chlorophénols, et la transformation de certains micropolluants aromatiques.

Les preuves les plus établies concernent les effluents colorés et les composés phénoliques, avec un corpus important sur les laccases libres, immobilisées, membranaires ou portées par des matériaux avancés. Les applications sur micropolluants pharmaceutiques progressent rapidement, notamment pour certaines molécules comme les fluoroquinolones, mais restent dépendantes de la structure chimique et de la matrice de l'effluent ^[10].

Pour les utilisateurs professionnels, la bonne lecture est donc la suivante : la laccase n'est pas un traitement complet des eaux usées, mais une enzyme spécialisée pour la transformation de polluants organiques oxydables. Utilisée dans une chaîne de traitement correctement conçue, elle peut contribuer à réduire la couleur, modifier des composés phénoliques ou appuyer une étape de polissage sur certains micropolluants, tout en s'inscrivant dans une logique de traitement plus ciblée et plus biologique.

Commander Laccase Enzyme For The Treatment Of Wastewater Cas 80498-15-3 en ligne

Vendu par unité de 1 kg, en stock et prêt à expédier. Commandez directement sur notre boutique — payez en ligne et nous traitons votre commande. Un certificat d'analyse et une fiche de données de sécurité sont inclus avec chaque commande.

[Acheter Laccase Enzyme For The Treatment Of Wastewater Cas 80498-15-3 →](#)

Références

Numérotées par ordre de première citation. Sources en libre accès, chacune vérifiée comme accessible au moment de la publication ; les numéros de citation dans le texte renvoient ici.

1. Younus, H., Khan, M. A., Khan, A., & Alhumaydhi, F. (2025). Eco-Friendly Biocatalysts: Laccase Applications, Innovations, and Future Directions in Environmental Remediation. *Catalysts*.
2. Puspita, K., Chiari, W., Abdulmajid, S. N., Idroes, R., & Iqhrammullah, M. (2022). Four Decades of Laccase Research for Wastewater Treatment: Insights from Bibliometric Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20.
3. Markou, G., Singhania, R., Sravan, J. S., Matsakas, L., & Sarkar, O. (2024). Advances in Biological Wastewater Treatment Processes: Focus on Low-Carbon Energy and Resource Recovery in Biorefinery Context. *Bioengineering*, 11.
4. Sutaoney, P., Pandya, S., Gajarlwar, D., Joshi, V., & Ghosh, P. (2022). Feasibility and potential of laccase-based enzyme in wastewater treatment through sustainable approach: A review. *Environmental science and pollution research international*, 29, 86499 - 86527.
5. Salem, M. M., Mohamed, T. M., Shaban, A. M., Mahmoud, Y., Eid, M. A., & El-Zawawy, N. A. (2024). Optimization, purification and characterization of laccase from a new endophytic Trichoderma harzianum AUMC14897 isolated from Opuntia ficus-indica and its applications in dye decolorization and wastewater treatment. *Microbial Cell Factories*, 23.
6. Naseem, S., Rawal, R., Pandey, D., & Suman, S. (2023). Immobilized laccase: an effective biocatalyst for industrial dye degradation from wastewater. *Environmental science and pollution research international*, 30, 84898-84917.
7. Peñaranda, P. A., Noguera, M. J., Florez, S., Husserl, J., Ornelas-Soto, N., Cruz, J., & Osma, J. (2022). Treatment of Wastewater, Phenols and Dyes Using Novel Magnetic Torus Microreactors and Laccase Immobilized on Magnetite Nanoparticles. *Nanomaterials*, 12.
8. Farag, A. M., El-Naggar, M. Y., & Ghanem, K. (2022). 2,4-Dichlorophenol biotransformation using immobilized marine halophilic Bacillus subtilis culture and laccase enzyme: application in wastewater treatment. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 20.
9. Lin, H., Chen, Y., Li, D., Gao, J., Song, J., Tao, Y., Zhang, J., ... et al. (2025). Laccase immobilized on electrospun polyurethane/regenerated cellulose nanofiber membranes for efficient P-Chlorophenol degradation from wastewater. *International Journal of Biological Macromolecules*, 144990 .
10. Ghose, A., Nuzelu, V., Gupta, D., Kimoto, H., Takashima, S., Harlin, E. W., Ss, S., ... et al. (2024). Micropollutants (ciprofloxacin and norfloxacin) remediation from wastewater through laccase derived from spent mushroom waste: Fate, toxicity, and degradation.. *Journal of Environmental Management*, 366, 121857 .
11. Varga, B., Meiczinger, M., Jakab, M., & Somogyi, V. (2023). Design and Optimization of Laccase Immobilization in Cellulose Acetate Microfiltration Membrane for Micropollutant Remediation. *Catalysts*.
12. Haq, I., Kalamdhad, A., & Pandey, A. (2022). Genotoxicity evaluation of paper industry wastewater prior and post-treatment with laccase producing Pseudomonas putida MTCC 7525. *Journal of Cleaner Production*.
13. Rodríguez-Couto, S. (2023). Immobilized-laccase bioreactors for wastewater treatment. *Biotechnology Journal*, 19.
14. Iqhrammullah, M., Fahrina, A., Chiari, W., Ahmad, K., Fitriani, F., Suriaini, N., Safitri, E., ... et al. (2023). Laccase Immobilization Using Polymeric Supports for Wastewater Treatment: A Critical Review. *Macromolecular Chemistry and Physics*.
15. Yuan, Y., Sang, Q., Liu, H., Yang, Z., Xie, C., & Ren, S. (2026). Metal-organic framework-hybridized immobilized laccase for the efficient degradation of industrial wastewater pollutants.. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 309, 119668 .

16. Deng, S., Chen, J., & Chang, J. (2021). Application of biochar as an innovative substrate in constructed wetlands/biofilters for wastewater treatment: Performance and ecological benefits. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126156.
17. Aslam, A., Khan, S. J., & Shahzad, H. M. A. (2021). Anaerobic membrane bioreactors (AnMBRs) for municipal wastewater treatment- potential benefits, constraints, and future perspectives: An updated review. *Science of the Total Environment*, 802, 149612 .
18. Chauke, N., Ngqalakwezi, A., & Raphulu, M. (2025). Transformative advancements in visible-light-activated titanium dioxide for industrial wastewater remediation. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 22, 8521 - 8552.
19. Vasudhevan, P., Manikandan, V., Iqbal, N., Ullah, S., Ma, H., Singh, S., Varshney, D., ... et al. (2025). Metal-Organic Frameworks for Wastewater Remediation: Sustainable Synthesis, Properties, and Applications. *The chemical record*, e2500076 .
20. Song, H., Zhang, K., Li, P., Qin, G., Xiao, W., Zhang, C., Zheng, Y., ... et al. (2024). One-step construction of silver-polyaniline nanocomposite modified multifunctional sponges for wastewater remediation: adsorption, catalysis and antimicrobial applications. *Journal of Materials Chemistry A*.
21. Liu, 刘. R. (2025). 胶粘剂生产废水特性分析与综合治理技术研究 (Characteristics Analysis and Comprehensive Treatment Technology Research of Adhesive Production Wastewater) . *化学工程理论 (Chemical Engineering Theory)* .
22. Wang, B., Chen, Y., Guan, J., Ding, Y., He, Y., Zhang, X., Shukurov, N., ... et al. (2022). Biodecolorization and Ecotoxicity Abatement of Disperse Dye-Production Wastewater Treatment with Pycnoporus Laccase. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19.
23. Heyde, B., Braun, M., Soufi, L., Lüneberg, K., Gallego, S., Amelung, W., Axtmann, K., ... et al. (2025). Transition from irrigation with untreated wastewater to treated wastewater and associated benefits and risks. *npj Clean Water*, 8.

Contacter Enzymes.bio

Des questions sur une commande ? Notre équipe se fera un plaisir de vous aider.

E-MAIL wholesale@enzymes.bio TÉLÉPHONE (ÉTATS-UNIS) **+1 (507) 428-6057**

[Nous contacter →](#)



400+ Clients B2B



60+ partenaires de recherche universitaires



54 servis dans le monde entier

© 2026 Enzymes.bio · Fourniture d'enzymes industrielles & de transformation alimentaire · Non destiné à la consommation humaine ni à la vente au détail.