

Laccase enzyme : applications en vin, boissons, lignine, textile et traitement des composés phénoliques

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

La **laccase** est une oxydase multicuivre qui catalyse l'oxydation de composés phénoliques et de certains composés aromatiques en utilisant l'oxygène moléculaire comme accepteur final d'électrons. Cette **laccase enzyme** est recherchée en B2B pour la clarification de boissons, la gestion des polyphénols en vin et brassage, la modification de la lignine, la décoloration de colorants et certaines biotransformations plus durables ^[1]. Enzymes.bio fournit la laccase en ligne par unité de 1 kg ; le CoA et la SDS sont fournis avec la commande .

Définition technique : qu'est-ce que la laccase ?

Dans une **enzyme laccase definition** utile pour les procédés industriels, la laccase est une oxydoréductase capable de retirer un électron à un substrat oxydable — fréquemment un phénol, un polyphénol ou un composé aromatique apparenté — puis de transférer les électrons vers l'oxygène. L'intérêt pratique vient du fait que le cycle catalytique repose sur l'air ou l'oxygène dissous, avec formation d'eau comme produit de réduction, plutôt que sur l'ajout d'oxydants chimiques plus agressifs ^[2].

La laccase appartient à la famille des **oxydases multicuivre**. Sa structure comporte plusieurs centres cuivre qui coopèrent : un site de type 1 reçoit les électrons du substrat, tandis qu'un ensemble de centres cuivre internes conduit à la réduction de l'oxygène. Cette **laccase structure** explique à la fois sa polyvalence et sa sensibilité aux conditions de procédé, car l'interaction enzyme-substrat, l'état d'oxydation des centres métalliques, le pH et l'oxygène disponible influencent l'**activité laccase** observée ^[3].

Les laccases sont produites naturellement par divers organismes, notamment des champignons, des bactéries, des plantes et des systèmes associés aux insectes et microorganismes. Les laccases fongiques sont particulièrement étudiées pour les applications liées aux polyphénols, à la lignine et aux composés aromatiques ; la littérature récente examine aussi des sources alternatives, dont les laccases issues de microbiomes d'insectes, comme réservoir potentiel pour des applications industrielles et biotechnologiques ^[4].

Dans les recherches scientifiques et commerciales, on rencontre souvent les expressions **trametes versicolor laccase** ou **laccase from Trametes versicolor**, car *Trametes versicolor* est un organisme modèle fréquent pour les laccases fongiques. Ces références ne signifient pas que toutes les laccases se comportent de façon identique : les revues sur la sélection de laccase soulignent que la source, la stabilité, l'affinité pour les substrats et les conditions de procédé doivent être cohérentes avec l'application visée [3].

Mécanisme de la laccase reaction : oxydation douce et couplage radicalaire

La **laccase reaction** commence par l'oxydation monoélectronique d'un substrat. Lorsqu'un phénol est oxydé, il peut former un radical phénoxy ; ce radical peut ensuite se réarranger, se coupler avec un autre radical, se polymériser, se lier à une matrice ou devenir plus facilement éliminable par séparation physique selon le procédé. C'est ce mécanisme qui rend la laccase utile pour la gestion des polyphénols dans les boissons, la modification de la lignine ou la transformation de certains contaminants phénoliques [1].

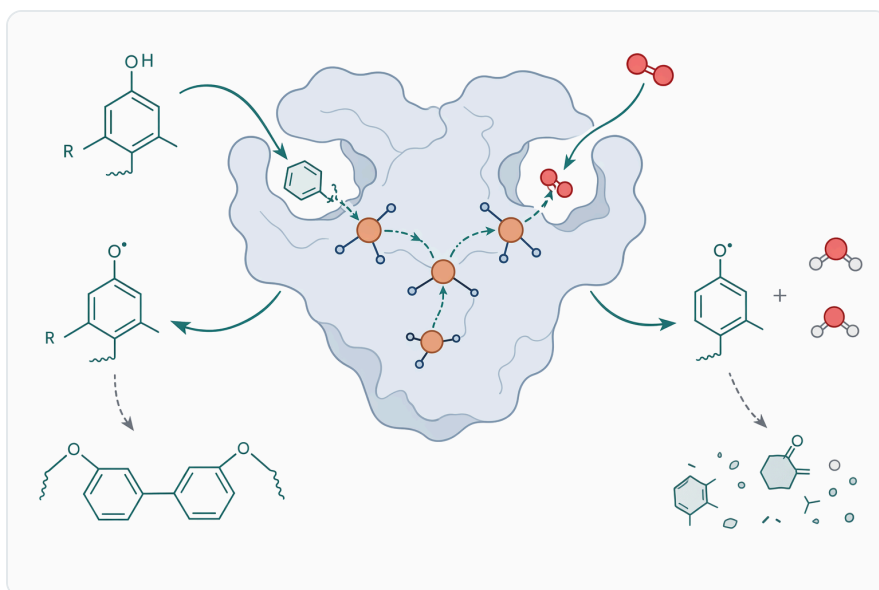


Figure 1. La laccase catalyse l'oxydation monoélectronique des substrats phénoliques tout en réduisant l'oxygène en eau.

Le terme **laccase substrate** couvre une famille large mais non illimitée de molécules. Les substrats directs typiques incluent de nombreux phénols, polyphénols, amines aromatiques et fragments ligniniques ; certains composés non phénoliques peuvent être transformés plus difficilement, souvent via des systèmes médiateurs ou dans des conditions spécialement conçues. Cette distinction est importante : une molécule aromatique n'est pas automatiquement un bon substrat de laccase, et la réactivité dépend de son potentiel redox, de ses substituants et de son accessibilité dans la matrice [2].

Dans la littérature, l'expression **laccase ABTS** ou **ABTS laccase** apparaît fréquemment, car l'ABTS est un composé modèle utilisé pour suivre l'oxydation enzymatique dans des travaux de recherche. Pour un utilisateur industriel, l'information essentielle n'est pas le réactif lui-même, mais la logique qu'il illustre : une laccase peut oxyder certains donneurs d'électrons rapidement en solution modèle, tandis que la performance dans un jus, un moût, une pâte, un effluent ou une biomasse lignocellulosique dépendra aussi de la diffusion, de l'oxygène, des inhibiteurs et des réactions secondaires [3].

Les médiateurs de laccase peuvent élargir la gamme de composés transformables, notamment pour des structures non phénoliques ou peu accessibles. Toutefois, ils changent la nature chimique du système : ils peuvent augmenter la portée oxydative, mais aussi introduire des produits intermédiaires et des exigences de maîtrise supplémentaires. Les revues sur la détoxification de composés phénoliques distinguent ainsi l'usage de laccase libre, de laccase immobilisée et de systèmes assistés par médiateurs, car les performances et les risques analytiques ne sont pas les mêmes [1].

Pourquoi la laccase est pertinente pour les procédés B2B

La laccase est recherchée parce qu'elle transforme des composés qui ont souvent un impact disproportionné sur la stabilité, l'apparence ou la filtrabilité des produits. Dans les boissons, les polyphénols peuvent participer à la turbidité, au brunissement, à la formation de dépôts ou à des interactions avec les protéines. Dans les biomasses lignocellulosiques, les structures aromatiques liées à la lignine influencent la réactivité, la couleur, la séparation des fibres et la valorisation des coproduits [5].

Le deuxième intérêt est la compatibilité avec des procédés plus sobres. Les revues sur la production et les applications de laccases soulignent leur potentiel dans des stratégies biotechnologiques où l'on cherche à réduire la dépendance à certains traitements chimiques, à travailler dans des conditions plus modérées et à exploiter une catalyse sélective. Cette logique ne supprime pas la nécessité de validation industrielle, mais elle explique pourquoi la **laccase application** s'étend des boissons à la pâte à papier, au textile, à la bioremédiation et à la chimie de spécialité [5].

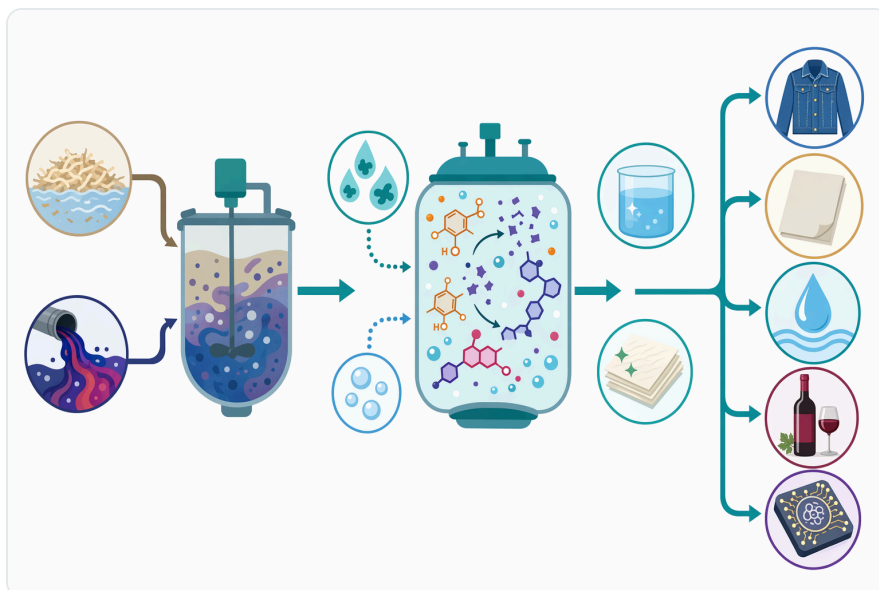


Figure 2. Les procédés industriels utilisant la laccase s'appuient sur une oxydation alimentée par l'oxygène pour modifier la lignine, les colorants, les composés phénoliques et d'autres composés aromatiques.

Le troisième intérêt est la possibilité de moduler le résultat par la matrice. Une même enzyme peut conduire à une clarification, à une réticulation, à une modification de couleur, à une polymérisation ou à une dégradation partielle selon les substrats présents. C'est une force, mais aussi une limite : la laccase n'est pas un « effaceur » universel de composés indésirables ; elle est un catalyseur d'oxydation dont l'effet final dépend du système complet [3].

Applications principales : boissons, vin, boulangerie, lignine et effluents

Domaine d'application	Substrats ou cibles typiques	Effet recherché	Points techniques à maîtriser
Jus, boissons végétales, extraits fruitiers	Polyphénols, composés oxydables	Clarification, réduction de certains voiles, meilleure filtrabilité	Oxygène, pH, turbidité initiale, risque de brunissement
Laccase vin et brassage	Polyphénols du moût, composés associés à la couleur et à l'astringence	Gestion oxydative, stabilisation selon objectif de procédé	Impact sensoriel, maîtrise de l'oxydation, filtration
Boulangerie et matrices céréalières	Phénols liés aux arabinoxylanes et autres constituants végétaux	Réticulation oxydative, influence sur texture et tenue	Formulation, hydratation, temps de contact

Domaine d'application	Substrats ou cibles typiques	Effet recherché	Points techniques à maîtriser
Laccase lignin et bioraffinerie	Lignine, fragments aromatiques lignocellulosiques	Modification de lignine, couplage, prétraitements ou valorisation	Accessibilité du substrat, médiateurs éventuels, séparation aval
Textile et colorants	Colorants phénoliques ou aromatiques sensibles à l'oxydation	Décoloration ou transformation de colorants	Nature du colorant, matrice d'effluent, immobilisation possible
Traitement de composés phénoliques	Phénols, bisphénols, contaminants oxydables	Détoxification ou transformation	Produits de transformation, sécurité, validation par matrice

Boissons, jus et clarification enzymatique

Dans les jus de fruits et boissons végétales, la laccase est surtout pertinente lorsque les composés phénoliques perturbent la stabilité colloïdale ou les étapes de clarification. L'oxydation des polyphénols peut conduire à des espèces plus réactives, capables de se coupler ou d'interagir avec d'autres constituants, ce qui peut faciliter une séparation ultérieure. Les effets dépendent fortement du fruit, de la teneur en polyphénols, de la disponibilité en oxygène et de l'ordre des opérations de procédé ^[1].

Cette application est techniquement différente d'un simple traitement antioxydant ou clarifiant. La laccase provoque une oxydation enzymatique contrôlée : elle peut être utile si l'objectif est de transformer une fraction de polyphénols, mais elle doit être intégrée avec prudence lorsque la couleur, l'arôme ou la fraîcheur oxydative sont critiques. Les revues sur la sélection de laccase insistent sur l'adéquation entre enzyme, substrat et conditions de procédé plutôt que sur une transposition directe d'un usage à l'autre ^[3].

Laccase vin, laccase Botrytis et maîtrise de l'oxydation

Le terme **laccase vin** est souvent associé à deux réalités différentes. D'un côté, une laccase ajoutée de façon maîtrisée peut être envisagée comme outil de transformation des polyphénols. De l'autre, la recherche **laccase Botrytis** renvoie fréquemment à la laccase produite par *Botrytis cinerea*, un champignon associé à la pourriture du raisin, dont l'activité oxydative peut poser problème en œnologie lorsque les conditions favorisent une oxydation non souhaitée ^[2].

Cette distinction est essentielle pour éviter les confusions. Une laccase utilisée comme auxiliaire technologique s'inscrit dans un procédé défini, avec un objectif et un arrêt ou une séparation aval ; une laccase provenant d'une contamination fongique du raisin est un facteur de variabilité de la vendange. Dans les deux cas, le mécanisme oxydatif est lié aux polyphénols, mais le contexte de contrôle n'est pas le même [3].

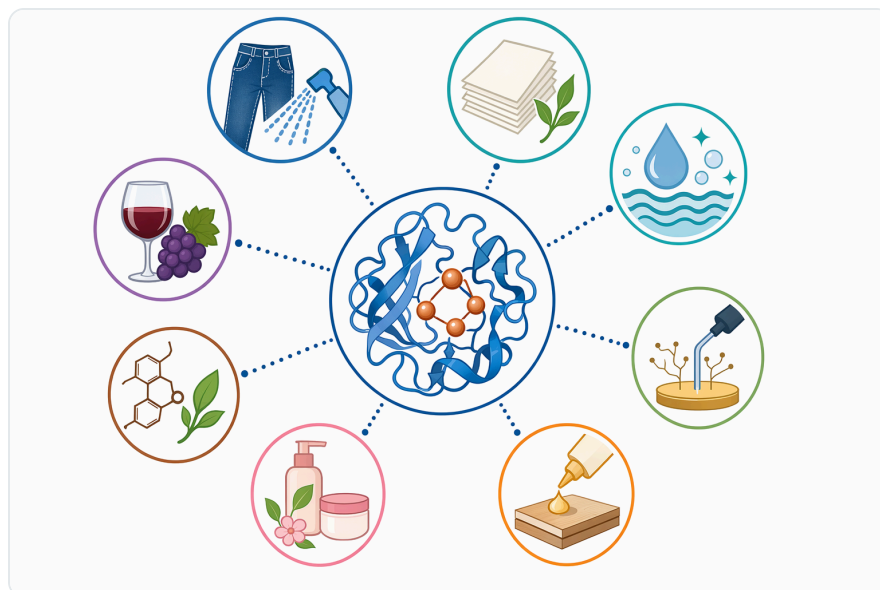


Figure 3. La laccase est utilisée dans les secteurs du textile, des pâtes et papiers, du traitement environnemental, de la transformation des aliments et des boissons, ainsi que des matériaux biosourcés.

En vinification et en brassage, l'effet recherché peut concerner la stabilité colloïdale, la couleur, l'astringence ou la clarification. Cependant, une oxydation excessive peut modifier le profil sensoriel. La laccase doit donc être comprise comme un levier de gestion des polyphénols, non comme un traitement générique applicable sans adaptation à la matrice, au style de produit et aux étapes aval [4].

Boulangerie et matrices céréalières

Dans les pâtes céréalières, la laccase peut intervenir sur des composés phénoliques associés aux fibres et à certains constituants végétaux. L'oxydation peut favoriser des réactions de couplage, notamment dans des matrices contenant des arabinoxylanes ou d'autres polymères porteurs de motifs phénoliques. Le résultat technologique peut se traduire par des changements de texture, de tenue de pâte ou de régularité, mais il dépend étroitement de la formulation [5].

Cette application illustre bien la différence entre activité enzymatique mesurée sur substrat modèle et performance en matrice réelle. Dans une pâte, l'eau disponible, la viscosité, l'oxygène dissous, les lipides, les protéines et les fibres influencent la diffusion et la réactivité. La sélection d'une laccase pour

un usage céréales ne peut donc pas se limiter à une comparaison abstraite d'activité ; elle doit être reliée au résultat technologique souhaité [3].

Laccase lignin, pâte à papier et bioraffinerie

La relation entre **laccase lignin** et procédés lignocellulosiques est centrale dans l'histoire industrielle de cette enzyme. La lignine est un polymère aromatique complexe ; la laccase peut oxyder certaines unités phénoliques de la lignine ou des fragments ligniniques, générant des radicaux susceptibles de se coupler, de se modifier ou de participer à des changements de solubilité et de réactivité. Cette propriété explique son intérêt dans la pâte à papier, les bioraffineries et la valorisation de biomasse [5].

Dans la pâte kraft, des stratégies enzymatiques combinent parfois plusieurs enzymes afin de cibler différentes composantes de la fibre. Une étude récente sur le blanchiment biologique de pâte kraft de résineux décrit des effets combinés de laccase, xylanase et mannanase, soulignant que la synergie enzymatique peut être plus pertinente qu'une approche mono-enzyme lorsque la matrice est lignocellulosique et hétérogène [6].

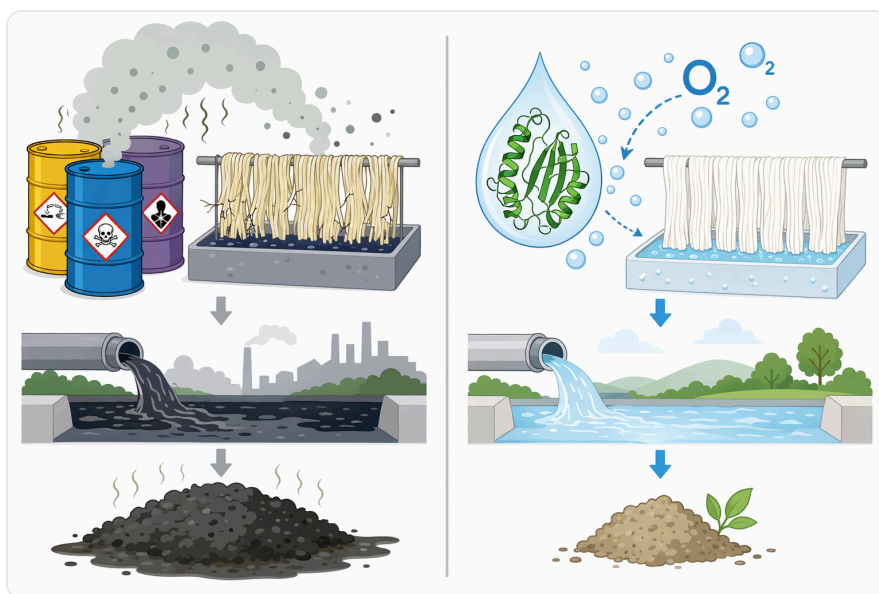


Figure 4. Par rapport à une oxydation chimique agressive, le traitement à la laccase peut réduire la charge chimique tout en oxydant sélectivement les substrats aromatiques.

La laccase n'agit toutefois pas de manière uniforme sur toute la lignine. Les fractions non phénoliques sont plus difficiles à oxyder directement et peuvent nécessiter des médiateurs ou des conditions spécifiques. Pour les procédés lignocellulosiques, l'enjeu n'est donc pas seulement de choisir « une laccase », mais d'aligner la réactivité enzymatique avec l'accessibilité de la lignine, les autres enzymes éventuelles et les objectifs aval : couleur, délignification, fonctionnalisation ou valorisation [3].

Textile, colorants et traitement de composés phénoliques

Les laccases sont largement étudiées pour la décoloration de colorants et la transformation de composés phénoliques dans les effluents. Leur intérêt vient de leur capacité à générer des oxydations sélectives dans l'eau, avec l'oxygène comme accepteur final d'électrons. Les revues sur la détoxification de composés phénoliques montrent que les systèmes à laccase libre ou immobilisée peuvent transformer des polluants phénoliques, mais que l'efficacité varie selon le polluant, le support, le pH, les co-substrats et les conditions de procédé [1].

La laccase immobilisée est souvent discutée pour les applications environnementales, car l'immobilisation peut améliorer la stabilité opérationnelle et permettre une réutilisation dans certains dispositifs. En contrepartie, elle introduit des paramètres supplémentaires : diffusion dans le support, perte éventuelle d'activité apparente, choix du matériau et séparation du système. La littérature traite donc l'immobilisation comme une stratégie de procédé, non comme une garantie automatique de performance [1].

Pour les effluents réels, la prudence est nécessaire. La disparition d'une couleur ou d'un composé parent ne suffit pas toujours à démontrer une détoxification complète ; les produits de transformation doivent être considérés, surtout dans les applications réglementées. La laccase peut être un outil puissant de biotransformation, mais sa validation doit porter sur la matrice complète plutôt que sur un seul marqueur analytique [3].

Production de laccase et diversité des sources

La **laccase production** fait l'objet d'un champ de recherche actif, incluant la production fongique, l'expression hétérologue et l'optimisation de souches ou de systèmes de culture. Les laccases fongiques restent des références importantes, mais les stratégies modernes cherchent à améliorer la disponibilité, la stabilité, le rendement et l'adaptation des enzymes aux contraintes industrielles [5].

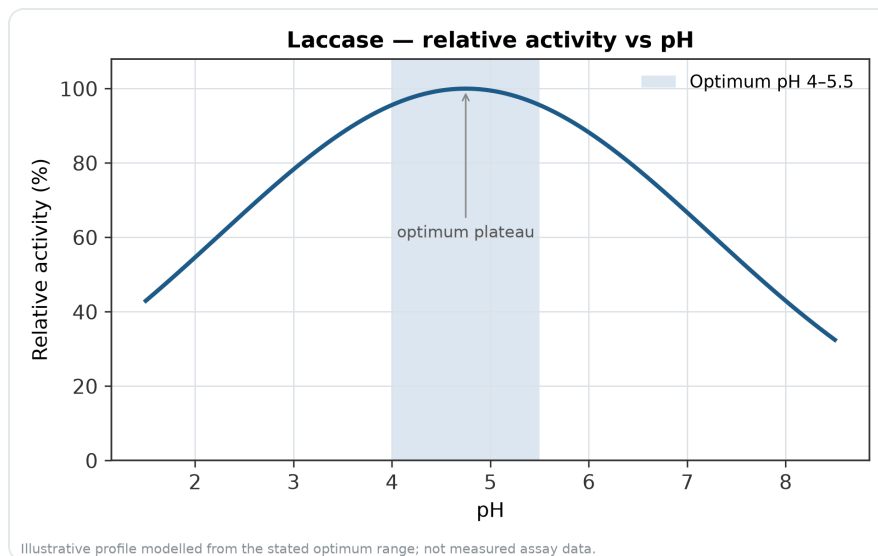


Figure 5. Activité relative de la laccase en fonction du pH, montrant un plateau optimal à pH 4–5,5.

L'expression hétérologue est particulièrement étudiée parce qu'elle peut permettre de produire une laccase d'intérêt dans un organisme hôte plus maîtrisable ou plus productif. Cette approche est pertinente lorsque la laccase native présente un potentiel intéressant mais que son organisme d'origine n'est pas idéal pour une production à grande échelle. Les revues récentes relient ces stratégies aux besoins d'applications biotechnologiques, de traitement environnemental, de biomasse et de chimie verte [5].

Les sources non classiques, notamment les systèmes insecte-microbe, attirent aussi l'attention. Les insectes et leurs microbiotes interagissent avec des matériaux végétaux riches en lignine, tanins et composés phénoliques ; leurs enzymes oxydatives peuvent donc représenter un réservoir de biocatalyseurs à explorer. Cette recherche ne remplace pas les laccases établies, mais elle élargit la compréhension de la diversité enzymatique disponible [4].

Sélection de laccase : pourquoi toutes les laccases ne se valent pas

La sélection d'une laccase dépend de plusieurs paramètres : nature du substrat, pH de la matrice, température du procédé, présence d'oxygène, stabilité souhaitée, tolérance à certains constituants et type de transformation recherché. Les revues consacrées à l'optimisation du choix de laccase soulignent que l'enzyme la plus active sur un substrat modèle n'est pas nécessairement la plus performante dans une matrice industrielle complexe [3].

Cette nuance est importante pour les recherches du type **laccase sigma**, souvent associées à des réactifs de laboratoire ou à des enzymes de référence utilisées en comparaison. Une laccase de recherche peut être utile pour comprendre un mécanisme, tandis qu'une laccase destinée à un procédé

doit être évaluée selon des critères de robustesse, d'intégration et de résultat technologique. Le vocabulaire se recoupe, mais le contexte d'usage est différent [3].

La disponibilité en oxygène est un paramètre souvent sous-estimé. Comme l'oxygène est l'accepteur final d'électrons, une matrice visqueuse, peu aérée ou très chargée peut limiter la réaction même si le substrat est théoriquement oxydable. À l'inverse, un excès d'oxydation peut être indésirable dans les boissons ou les matrices sensibles à la couleur et à l'arôme [2].

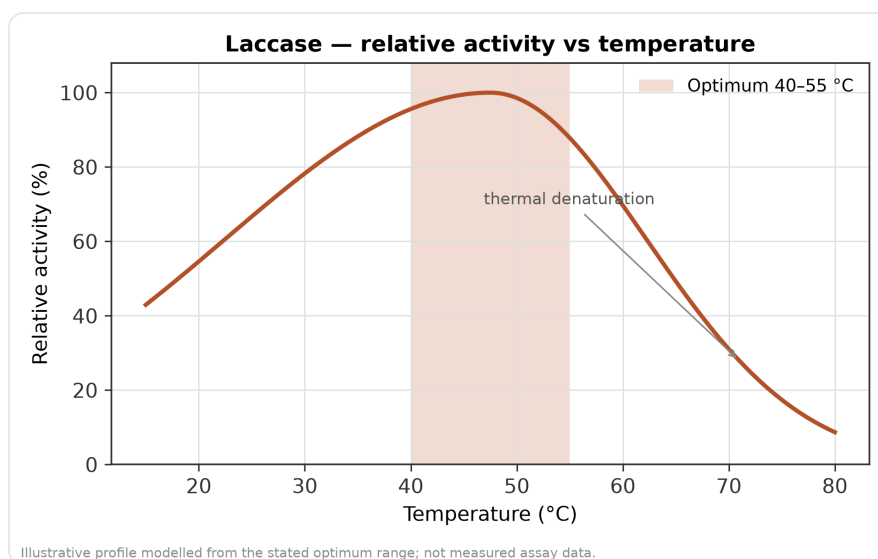


Figure 6. Activité relative de la laccase en fonction de la température, avec un optimum à 40–55 °C et une diminution caractéristique due à la dénaturation thermique au-dessus de l'optimum.

Le pH influence à la fois l'état du substrat, les transferts électron-proton et la stabilité de l'enzyme. Dans une matrice alimentaire acide, une laccase peut se comporter différemment que dans un effluent ou une suspension lignocellulosique. Les comparaisons doivent donc être lues comme des indications de comportement, non comme des garanties transposables à toutes les formulations [3].

Conditions d'utilisation : interpréter l'activité laccase sans surpromesse

L'**activité laccase** est une notion dépendante du substrat et des conditions. Une valeur obtenue avec un substrat modèle, comme dans des études utilisant ABTS, renseigne sur une capacité oxydative dans un contexte défini ; elle ne prédit pas entièrement la vitesse de réaction dans un jus trouble, un moût, une pâte céréalière ou un effluent coloré. Les matrices réelles contiennent des mélanges de substrats concurrents, d'inhibiteurs potentiels et de composés qui réagissent avec les produits oxydés [3].

Le temps de contact doit être considéré avec le procédé aval. Dans une boisson, l'oxydation enzymatique peut être suivie d'une clarification, d'une filtration ou d'un traitement thermique ; dans un effluent, elle peut être intégrée à une étape de séparation ou à un système immobilisé ; dans une biomasse, elle peut précéder ou accompagner d'autres traitements enzymatiques. La laccase est donc rarement une opération isolée : elle s'insère dans une chaîne de transformation [5].

Les matrices contenant des phénols facilement oxydables peuvent réagir rapidement, mais aussi générer des produits de couplage qui modifient la couleur ou la viscosité. Les matrices riches en composés non phénoliques peuvent nécessiter une stratégie différente, parfois avec médiateurs ou enzymes complémentaires. Cette diversité explique pourquoi la laccase est polyvalente sans être universelle [1].

Avantages et limites par rapport aux traitements chimiques

Le premier avantage de la laccase est sa capacité à exploiter l'oxygène comme oxydant terminal. Dans certaines applications, cela peut réduire le besoin de réactifs oxydants forts et faciliter l'intégration dans des procédés cherchant une empreinte chimique plus faible. Cet avantage est particulièrement attractif dans les domaines où la sélectivité et la douceur des conditions sont importantes [5].

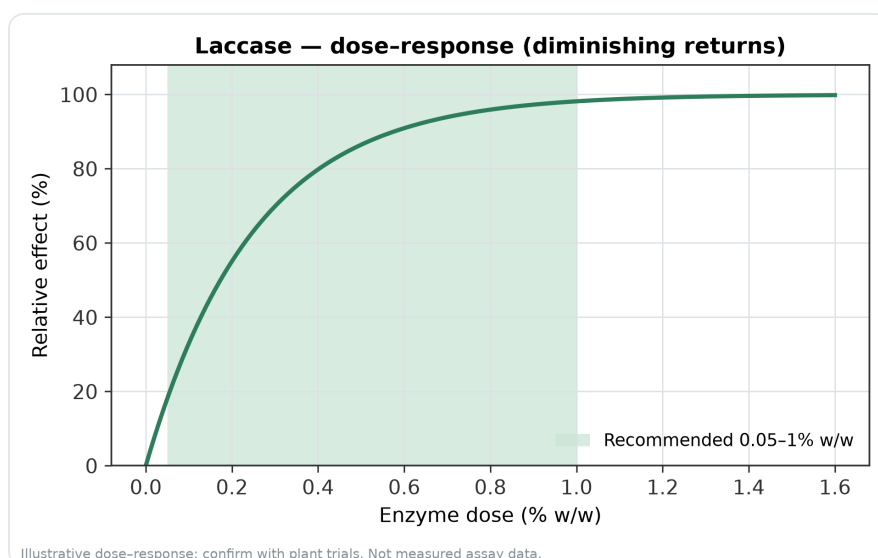


Figure 7. Relation dose-réponse illustrative de la laccase dans la plage d'utilisation recommandée (0,05-1 % p/p).

Le deuxième avantage est la sélectivité relative. La laccase ne transforme pas indistinctement toutes les molécules : elle favorise des familles de substrats selon leur structure et leur potentiel d'oxydation. Cette sélectivité peut être exploitée pour cibler des polyphénols, des fragments ligniniques ou certains

colorants, mais elle impose aussi de vérifier que la cible du procédé est réellement accessible à l'enzyme ^[1].

La principale limite est la dépendance à la matrice. Les performances peuvent être freinées par un pH non adapté, une faible solubilité du substrat, une diffusion limitée, une disponibilité insuffisante en oxygène ou la présence de composés qui détournent la réaction. Dans les applications sensibles, les produits d'oxydation doivent être pris en compte, car ils peuvent se coupler, précipiter, modifier la couleur ou former des espèces nouvelles ^[3].

Une autre limite concerne la stabilité et la réutilisation. Pour des procédés en continu ou des traitements d'effluents, la laccase libre peut ne pas offrir la robustesse souhaitée ; les systèmes immobilisés peuvent répondre à cette contrainte, mais au prix d'une conception plus complexe. Les revues sur la détoxification par laccase montrent que le choix entre enzyme libre et immobilisée doit être guidé par le procédé, pas par une préférence générale ^[1].

Positionnement Enzymes.bio pour les utilisateurs B2B

Enzymes.bio propose la laccase comme enzyme destinée aux usages de transformation et aux applications industrielles, notamment lorsque l'oxydation de composés phénoliques ou aromatiques est pertinente. Enzymes.bio est un fournisseur en ligne, et non un fabricant ni un laboratoire ; le produit est vendu directement en ligne par unité de 1 kg, avec CoA et SDS fournis avec la commande .

Le positionnement pratique est celui d'un ingrédient enzymatique B2B à intégrer dans un procédé validé par l'utilisateur. Les domaines d'usage cohérents avec la littérature incluent les boissons, le vin, le brassage, certaines matrices céréalieres, la transformation de lignine, la pâte à papier, le textile et le traitement de composés phénoliques. Les applications plus avancées, comme la dégradation de contaminants spécifiques ou l'usage de médiateurs, doivent être traitées comme des développements de procédé à part entière ^[5].

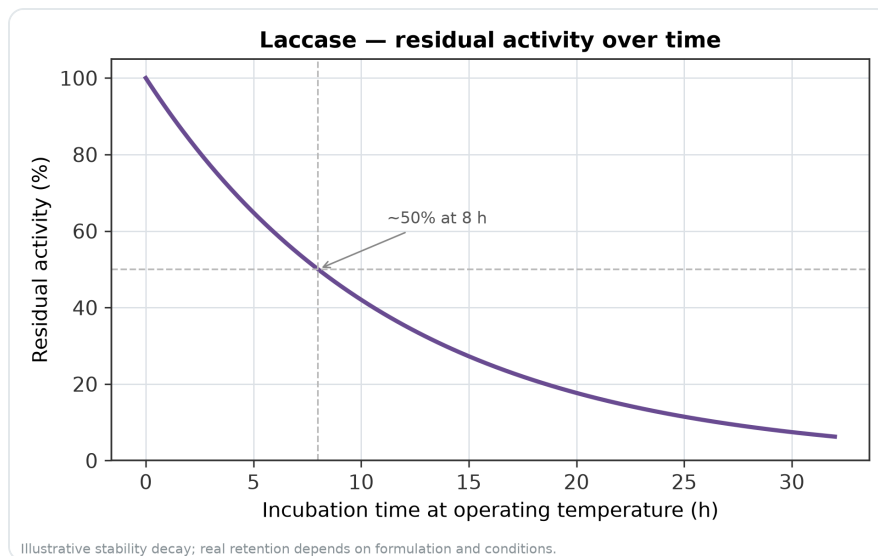


Figure 8. Décroissance illustrative de la stabilité thermique de la laccase — l’activité résiduelle diminue au fil du temps à la température de fonctionnement.

Pour un client industriel, la bonne lecture de la laccase est donc double. D’un côté, le mécanisme est bien établi : oxydation de substrats phénoliques ou aromatiques, transfert d’électrons vers l’oxygène et formation d’eau. De l’autre, le résultat final dépend de la matrice : la même réaction enzymatique peut produire une clarification utile, une modification de couleur, une réticulation, une décoloration ou une transformation incomplète selon le contexte ^[2].

Synthèse

La laccase est une enzyme d’oxydation polyvalente dont les applications reposent sur un mécanisme précis : elle retire des électrons à des substrats phénoliques ou aromatiques et les transfère à l’oxygène. Cette propriété explique son intérêt pour les boissons, le **laccase vin**, la transformation de la lignine, le textile, les effluents et certaines biotransformations plus durables ^[1].

Les termes de recherche comme **laccase substrate**, **laccase ABTS**, **trametes versicolor laccase**, **laccase production** ou **laccase application** renvoient à des dimensions complémentaires : mécanisme, mesure de réactivité, source biologique, production et usage industriel. La conclusion technique reste la même : la laccase est robuste comme concept enzymatique, mais sa performance doit être comprise dans le contexte du substrat réel, de l’oxygène disponible, du pH, de la température, du temps de contact et des opérations aval ^[3].

Pour les utilisateurs B2B, la valeur de la laccase réside dans sa capacité à remplacer ou compléter certaines oxydations chimiques par une catalyse enzymatique plus ciblée. Elle n’est pas une solution universelle, mais un outil puissant lorsque le procédé implique des polyphénols, des composés

aromatiques, des colorants ou des structures ligniniques que l'on souhaite transformer de manière contrôlée [5].

Commander Laccase 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 →](#)

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. Rostami, A., Abdelrasoul, A., Shokri, Z., & Shirvandi, Z. (2022). Applications and mechanisms of free and immobilized laccase in detoxification of phenolic compounds — A review. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 1-12.
2. [Pmc3132468](#). *PubMed Central*.
3. Dezfouli, R. A., & Esmailidezfouli, E. (2024). Optimizing laccase selection for enhanced outcomes: a comprehensive review. *3 Biotech*, 14.
4. Asemoloye, M., Gbadebo, A. M., Bello, T. S., Olowe, O., Akanmu, A. O., Temporiti, M. E. E., Odebode, A., ... et al. (2025). Insect-Microbe-Based Laccase: Untapped Natural Resource for Industrial and Biotechnological Applications. *Advanced Sustainable Systems*, 9.
5. Sodhi, A. S., Bhatia, S., & Batra, N. (2024). Laccase: Sustainable production strategies, heterologous expression and potential biotechnological applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135745 .
6. Guo, W., Hui, L., Song, F., Qu, Y., Wang, Q., Zhang, Y., Xin, J., ... et al. (2025). A new strategy for biological enzyme bleaching: combined effects of laccase, xylanase, and mannanase in the bleaching of softwood kraft pulp – a synergistic effect of enzymes. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 40, 465 - 476.

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.