

Indigo Decolorizing Enzyme For Denim Washing : décoloration enzymatique de l'indigo, lavage denim et finition textile durable

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

Indigo Decolorizing Enzyme For Denim Washing est une préparation enzymatique destinée au lavage professionnel du denim afin d'aider à éclaircir, dégrader ou mieux contrôler la couleur indigo pendant la finition des articles confectionnés. Elle s'inscrit dans les procédés enzymatiques de finition textile, utilisés pour obtenir des effets de délavage plus maîtrisés, réduire l'agressivité de certaines étapes chimiques ou mécaniques et améliorer la gestion de l'indigo libéré dans le bain ^[1].

Comprendre l'enzyme de décoloration de l'indigo pour denim

Le denim est un textile de coton dont l'aspect caractéristique provient en grande partie de la teinture indigo, généralement concentrée près de la surface des fils. Cette localisation superficielle explique pourquoi les procédés de lavage, d'abrasion, de biopolissage ou d'oxydation peuvent modifier fortement l'apparence du vêtement sans nécessairement traverser toute la fibre. Les articles denim — jeans, vestes, shorts, jupes, chemises et pièces confectionnées — sont donc particulièrement sensibles aux paramètres de finition : mécanique de machine, durée de lavage, température, pH, auxiliaires et nature de la teinture initiale ^[2].

Dans ce contexte, le terme **Indigo Decolorizing Enzyme** ne doit pas être compris comme le nom d'une enzyme unique et universelle. Il désigne une préparation enzymatique appliquée à la finition denim pour favoriser la réduction visuelle de la couleur indigo, l'obtention d'un aspect "washed down", la création d'un effet usé ou l'amélioration de la propreté de nuance. Les enzymes textiles peuvent agir directement sur la fibre, sur les colorants ou sur l'environnement physicochimique du bain ; les revues sur le traitement textile durable les classent parmi les outils majeurs de désencollage, biopolissage, finition du coton, lavage denim et traitement de colorants ^[3].

L'intérêt industriel est pratique : une blanchisserie denim cherche rarement une simple "décoloration maximale". Elle doit produire une nuance reproductible, préserver la main et la résistance du tissu, limiter les taches ou la redéposition de colorant, et maintenir un procédé compatible avec les exigences environnementales et de qualité. Les travaux consacrés au lavage enzymatique de denim teint à l'indigo et au soufre montrent que les enzymes sont déjà étudiées comme composants de recettes de lavage pour ajuster l'apparence finale de vêtements teints, plutôt que comme agents isolés utilisés hors procédé ^[1].

Enzymes.bio propose ce produit comme fournisseur en ligne, en unité de 1 kg. Enzymes.bio n'est ni un fabricant ni un laboratoire ; le produit est destiné à des utilisateurs professionnels qui l'intègrent dans leurs propres procédés de lavage et de finition. Le certificat d'analyse et la fiche de données de sécurité sont fournis avec la commande, conformément au positionnement produit publié .

Pourquoi l'indigo du denim nécessite une approche spécifique

L'indigo n'est pas un colorant textile ordinaire du point de vue du lavage. Sa faible solubilité, son dépôt superficiel sur le coton et son comportement particulière pendant la finition font que l'effet final dépend autant de la libération du colorant que de sa dispersion dans le bain. Un procédé efficace doit donc gérer deux phénomènes simultanés : enlever ou transformer une partie de l'indigo visible, puis éviter que l'indigo libéré ne se redépose sur les zones claires, les fils de trame, les coutures, les poches ou les doublures ^[2].

Les procédés conventionnels de finition denim combinent souvent abrasion mécanique, rinçages, oxydation, auxiliaires et adoucissage. Les enzymes offrent une logique différente : elles catalysent des réactions ciblées dans des conditions aqueuses, souvent plus modérées que des traitements fortement oxydants ou très abrasifs. Les synthèses récentes sur les enzymes dans l'ennoblissement textile soulignent leur capacité à remplacer ou compléter certaines étapes chimiques, notamment lorsque l'objectif est de réduire l'intensité des traitements tout en conservant un résultat fonctionnel ^[4].



Figure 1. 효소 데님 워싱에서 인디고 탈색은 주로 표면에서 일어나는 현상으로, 눈에 보이는 파란색의 상당 부분이 원사 바깥층에 집중되어 있기 때문이다.

Pour le denim, cette approche est particulièrement utile parce que la couleur recherchée n'est pas homogène. Un jean "washed" doit conserver du contraste : zones plus claires sur les arêtes, coutures visibles, plis ou reliefs marqués, mais fond de couleur encore maîtrisé. Une enzyme de décoloration de l'indigo doit donc être considérée comme un **outil de réglage de procédé** : elle ne remplace pas à elle seule la conception de la recette, mais elle permet d'influencer l'équilibre entre délavage, propreté, contraste et préservation du support textile ^[5].

Mécanismes enzymatiques pertinents dans le lavage denim

Action sur la surface cellulosique du coton

Le coton est principalement constitué de cellulose. Les cellulases, largement utilisées en biopolissage et en finition denim, hydrolysent certaines liaisons glycosidiques accessibles à la surface des fibres. Dans un lavage denim, leur action peut éliminer des microfibrilles, lisser une partie de la surface et libérer de très petites fractions de matière cellulosique portant de l'indigo. Cette libération contrôlée contribue à l'effet de délavage et à l'aspect usé recherché ^[3].

L'intérêt des cellulases n'est pas seulement esthétique. En comparaison d'une abrasion purement mécanique, elles peuvent réduire la dépendance aux actions physiques intenses, à condition que le procédé soit bien maîtrisé. Un excès de traitement enzymatique ou mécanique peut cependant dégrader la résistance, modifier la main ou créer une perte de poids textile indésirable. Les sources consacrées à la finition denim par enzymes insistent donc sur l'équilibre entre effet visuel et préservation du tissu ^[5].

Transformation oxydative du chromophore indigo

Certaines enzymes oxydoréductrices, notamment les laccases et les peroxydases, sont étudiées pour la décoloration de colorants textiles. Leur intérêt vient de leur capacité à modifier des structures chimiques responsables de la couleur. Dans le cas d'une laccase, l'oxydation enzymatique peut transformer des composés aromatiques ou phénoliques et participer à la diminution de l'intensité colorée ; des travaux ont spécifiquement évalué une laccase bactérienne thermostable pour le blanchiment durable du denim [6].

Les peroxydases constituent une autre famille d'enzymes oxydatives étudiées pour la décoloration. Une manganèse peroxydase recombinante issue de *Cerrena unicolor* a par exemple été évaluée pour la décoloration de colorants et la dégradation d'hydrocarbures aromatiques polycycliques, ce qui illustre l'intérêt des enzymes ligninolytiques dans la transformation de molécules aromatiques complexes [7]. Dans un procédé denim, ce type de logique ne doit pas être confondu avec un blanchiment chimique brutal : l'objectif est une transformation catalytique contrôlée, intégrée à un bain de lavage compatible.

Rôle du bain, des auxiliaires et du transfert de matière

Même si l'enzyme est le biocatalyseur, le résultat dépend fortement du bain. L'indigo libéré doit quitter la surface textile, rester dispersé ou être suffisamment transformé pour ne pas provoquer de redéposition. Les travaux sur la dégradation enzymatique de colorants textiles montrent que les systèmes de bain, y compris certains tensioactifs spécialisés, peuvent influencer l'efficacité de la dégradation des colorants en modifiant l'accessibilité, la solubilisation ou l'environnement de réaction [8].

Cette dimension est essentielle pour comprendre les différences entre deux recettes utilisant une enzyme comparable. Une même préparation peut donner un résultat différent selon la charge machine, le rapport de bain, la construction du tissu, la profondeur de teinte, la présence d'élasthane, le type d'indigo, la combinaison avec d'autres colorants ou la séquence de rinçage. Le lavage enzymatique du denim est donc un système fibre-colorant-enzyme-bain, et non une simple addition de produit dans une machine [1].

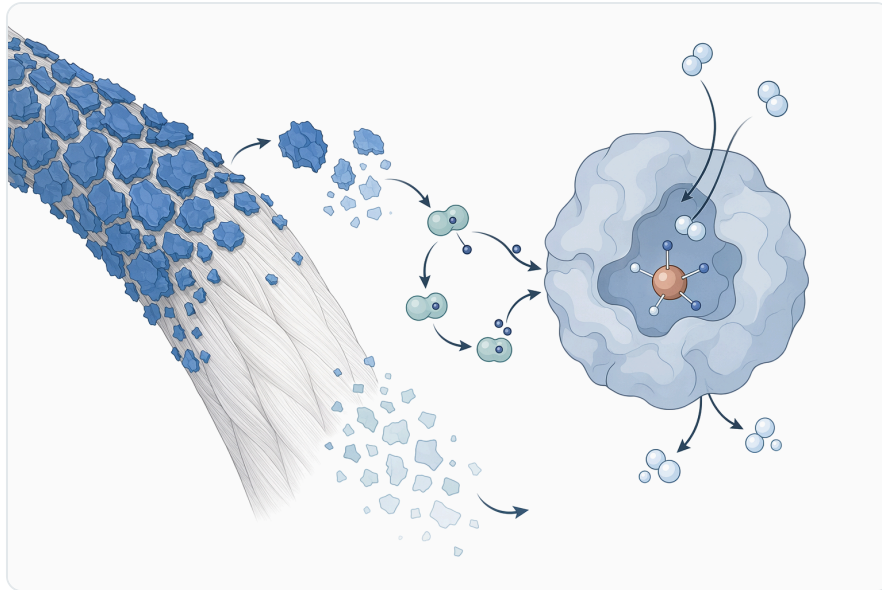


Figure 2. 셀룰라아제는 접근 가능한 면 표면의 미세 섬유를 가수분해하여, 기계적 워싱 과정에서 인디고를 포함한 조각들이 떨어져 나가 의류의 색이 옅어지게 한다.

Tableau comparatif : enzyme de décoloration, cellulase, laccase et procédés physiques

Approche de finition denim	Mécanisme principal	Contribution possible au rendu denim	Points de vigilance
Enzyme de décoloration de l'indigo	Préparation enzymatique orientée vers la réduction visuelle ou la transformation de l'indigo	Éclaircissement global, propreté de nuance, soutien à l'effet "washed"	Performance dépendante du tissu, de la teinture, du pH, de la température, du temps et des auxiliaires
Cellulase textile	Hydrolyse contrôlée de la cellulose superficielle	Biopolissage, libération d'indigo porté par les microfibrilles, effet usé	Risque de perte de résistance ou de modification de main si le procédé est trop sévère
Laccase ou autre enzyme oxydative	Oxydation enzymatique de structures colorées	Décoloration ou blanchiment enzymatique plus ciblé de certains colorants	Compatibilité nécessaire avec la recette et les conditions de bain
Laser denim	Modification physique localisée de la surface	Effets visuels précis, motifs et zones d'usure contrôlées	Qualité finale dépendante de la préparation du tissu et des réglages de traitement

Approche de finition denim	Mécanisme principal	Contribution possible au rendu denim	Points de vigilance
Technologies de coloration ou finition plus durables	Réduction de l'eau, de l'énergie ou des émissions selon la technologie	Intégration dans des stratégies de production textile à moindre impact	Maturité industrielle variable selon le procédé et le contexte

Les procédés ne sont pas nécessairement exclusifs. Les revues sur les méthodes durables de coloration et de finition textile présentent les enzymes, le laser, l'ozone, les fluides supercritiques et d'autres technologies comme des voies complémentaires pour réduire certaines charges environnementales du textile [9]. Dans le denim, le choix dépend du rendu recherché, de l'équipement disponible, de la qualité du tissu et du niveau de contrôle exigé par la marque.

Applications principales en blanchisserie denim

Délavage enzymatique des jeans et articles confectionnés

L'application la plus directe est le **denim garment washing** : traitement de vêtements déjà confectionnés pour obtenir une réduction de teinte, un toucher plus souple et un aspect porté. L'enzyme peut participer à l'éclaircissement de l'indigo sans nécessiter une abrasion mécanique aussi intense que certains procédés traditionnels. Les études sur le lavage enzymatique de denim teint à l'indigo et au soufre confirment que l'approche enzymatique est pertinente pour moduler l'apparence de tissus denim colorés [1].

Dans une recette réelle, l'enzyme agit avec la mécanique de la machine. La rotation, le frottement vêtement contre vêtement, la charge, le niveau d'eau et la durée conditionnent la façon dont l'indigo est retiré des zones exposées. L'enzyme ne crée donc pas seule le relief visuel ; elle amplifie ou régularise des phénomènes de surface déjà présents dans le lavage. Cette complémentarité explique pourquoi les enzymes sont fréquemment décrites comme des agents de finition, et non comme de simples décolorants chimiques [5].

Aide à la maîtrise du backstaining

Le **backstaining** correspond à la redéposition de l'indigo sur des zones qui devraient rester claires. Il peut ternir les contrastes, bleuir les poches, salir les fils de trame ou rendre le vêtement moins net. Une enzyme de décoloration de l'indigo peut contribuer à limiter ce problème lorsqu'elle favorise la libération contrôlée du colorant, sa transformation ou sa meilleure dispersion dans le bain. Les

recherches sur l'amélioration de la dégradation enzymatique des colorants soulignent que l'environnement du bain est déterminant pour déplacer les colorants hors du substrat et améliorer leur traitement ^[8].

La maîtrise du backstaining n'est toutefois pas garantie par la seule présence d'une enzyme. Elle dépend aussi de la séquence de rinçage, de la compatibilité des auxiliaires, de la qualité de l'eau, du rapport de bain et de la concentration de colorant libéré. Un denim très foncé ou une construction retenant beaucoup de particules colorées peut nécessiter un réglage différent d'un denim léger ou déjà prélavé. C'est pourquoi la performance doit toujours être interprétée à l'échelle du procédé complet ^[1].

Blanchiment enzymatique plus doux

Les laccases sont particulièrement intéressantes pour le blanchiment enzymatique du denim parce qu'elles peuvent agir par oxydation catalytique plutôt que par attaque chimique non spécifique. Une étude consacrée à une laccase bactérienne thermostable a explicitement évalué son potentiel pour un blanchiment durable du denim, ce qui soutient l'idée que les enzymes oxydatives peuvent contribuer à des effets d'éclaircissement dans des conditions adaptées ^[6].

Cet intérêt ne signifie pas qu'une laccase reproduit exactement le comportement d'un oxydant conventionnel. Les enzymes ont une spécificité, une sensibilité aux conditions de bain et parfois une dépendance à des cofacteurs ou à l'environnement réactionnel. Leur avantage potentiel réside dans la sélectivité et la possibilité de travailler dans une logique de procédé plus douce, mais leur effet doit être évalué par rapport au résultat visuel attendu et au type de colorant présent sur le vêtement ^[4].



Figure 3. 셀룰라아제 기반 탈색은 염료를 포함한 먼 표면 물질을 제거하는 방식인 반면, 라카아제 계열의 탈색은 민감한 염료 발색단에 산화적 변화를 일으키는 방식으로 작용한다.

Contribution à une production textile plus circulaire

Le lavage denim est souvent examiné sous l'angle de la consommation d'eau, d'énergie, de produits chimiques et de la génération d'effluents colorés. Les modèles d'économie circulaire appliqués à la chaîne textile mettent l'accent sur la réduction des déchets, la valorisation des ressources et l'amélioration de la durabilité des procédés ^[10]. Les enzymes s'intègrent dans cette logique lorsqu'elles permettent de réduire l'intensité de certaines étapes, de mieux préserver les articles ou d'améliorer la compatibilité environnementale d'une recette.

Il faut cependant éviter de présenter l'enzyme comme une solution environnementale totale. Même avec un traitement enzymatique, les bains de lavage peuvent contenir des colorants, des fibres, des auxiliaires et des matières organiques. Des travaux récents sur des effluents textiles réels contenant du bleu indigo montrent que l'adsorption et les procédés membranaires restent étudiés pour le traitement aval de ces flux ^[11]. L'enzyme peut réduire ou modifier certaines charges, mais elle ne supprime pas l'obligation de gérer correctement les eaux usées.

Paramètres de procédé qui influencent le résultat

Les enzymes sont des protéines catalytiques : leur activité dépend de la température, du pH, du temps, de l'agitation et de la compatibilité chimique du bain. Une condition trop sévère peut dénaturer l'enzyme ; une condition trop éloignée de sa zone utile peut ralentir l'effet ; une mécanique excessive

peut masquer le bénéfice enzymatique par abrasion pure. Les revues sur les enzymes textiles rappellent que leur efficacité repose sur une intégration cohérente dans le procédé, et non sur une addition isolée [3].

Le type de denim influence fortement la réponse. Un denim lourd, un stretch denim, une toile à armure serrée, une teinture indigo profonde, un article sulfur bottom ou un vêtement déjà traité ne libèrent pas le colorant de la même manière. Les articles confectionnés présentent aussi des zones de surépaisseur — coutures, ceinture, passants, poches — où la mécanique et la circulation de bain diffèrent. Cette hétérogénéité explique pourquoi le rendu final doit être pensé en termes de nuance, contraste, propreté et toucher [2].

La compatibilité avec les autres auxiliaires est également déterminante. Certains agents peuvent améliorer le mouillage, la dispersion ou le rinçage ; d'autres peuvent inhiber ou déstabiliser l'enzyme. Les travaux sur les tensioactifs à base de liquides ioniques pour améliorer la dégradation enzymatique des colorants illustrent que le choix du milieu réactionnel peut modifier l'efficacité de la décoloration [8]. En production, cette interaction doit être considérée comme une variable de formulation de bain.

Enfin, l'arrêt ou la réduction de l'activité enzymatique après le traitement est important pour stabiliser le résultat. Dans un procédé textile, l'effet recherché doit être atteint puis figé par la séquence de rinçage, de changement de pH, de montée en température ou de finition, selon la recette utilisée. Cette logique est commune aux opérations enzymatiques de désencollage, biopolissage et lavage denim : la réaction doit être utile pendant une fenêtre de procédé, puis ne plus continuer de manière incontrôlée [4].



Figure 4. 백스테이닝은 떨어져 나온 인디고 입자가 잘 분산되어 행균으로 제거 되지 못하고, 밝은 데님 부위에 다시 달라붙을 때 발생한다.

Qualité textile : équilibre entre effet visuel et préservation du support

Un bon lavage denim ne se limite pas à éclaircir la couleur. Il doit préserver la résistance au porter, la tenue des coutures, l'élasticité éventuelle, la main et l'homogénéité du lot. Les cellulases peuvent améliorer l'aspect de surface, mais une action excessive sur la cellulose peut fragiliser le tissu. Les documents consacrés à la finition denim enzymatique rappellent donc que les enzymes doivent être dosées et intégrées avec prudence dans des procédés qui comportent déjà une action mécanique ^[5].

Les technologies alternatives comme le laser montrent aussi que la qualité finale dépend de la préparation du tissu et des conditions de traitement. Une étude sur l'effet des procédés de préparation sur la qualité du denim délavé au laser illustre que même une technologie physique très contrôlable reste sensible à l'état initial du textile ^[12]. Cette observation vaut également pour l'enzymatique : un tissu mal préparé, une teinture irrégulière ou un rinçage insuffisant peuvent limiter la reproductibilité.

Pour une blanchisserie, l'avantage attendu d'une enzyme de décoloration de l'indigo est donc la **maîtrise** : éclaircir sans surtraiter, obtenir un aspect usé sans abrasion excessive, améliorer la netteté visuelle sans multiplier les corrections chimiques. Les bénéfices sont les plus pertinents lorsque la recette est pensée autour de l'interaction entre enzyme, indigo et fibre cellulosique ^[1].

Effluents, indigo et limites environnementales

L'indigo retiré du denim ne disparaît pas automatiquement : il passe dans le bain, peut être transformé partiellement ou se retrouver dans les effluents. Des études récentes sur des effluents modèles contenant de l'indigo ont évalué l'ultrafiltration avec des membranes polymères, ce qui montre que le traitement des rejets colorés reste un enjeu technique distinct de la finition du vêtement ^[13]. Une enzyme de lavage doit donc être considérée comme une étape de procédé, non comme un traitement complet des eaux usées.

Les systèmes hybrides associant adsorption et membranes ont également été étudiés sur des effluents textiles réels contenant du bleu indigo ^[11]. Ces travaux confirment que les bains issus de procédés denim peuvent nécessiter des solutions aval spécifiques. L'intérêt d'une enzyme est de contribuer à un procédé potentiellement plus doux et plus sélectif ; la conformité environnementale dépend ensuite de l'ensemble de l'installation, de la charge polluante et des traitements disponibles.

Les approches de coloration textile durable, y compris les fluides supercritiques et d'autres technologies innovantes, visent plus largement à réduire l'eau, l'énergie et les émissions de CO₂ dans la chaîne textile ^[14]. L'enzymatique appartient à cette famille de solutions d'amélioration progressive : elle

peut réduire certaines contraintes, mais elle ne remplace pas une stratégie globale de gestion de l'eau, de l'énergie, des effluents et de la durabilité produit.



Figure 5. 인디고 탈색 효소 기술은 의류 워시다운, 스톤-효소 효과, 바이오폴리싱, 복합 효소 연구, 그리고 인디고 함유 폐수 처리 개념에 활용될 수 있다.

Manipulation professionnelle et sécurité

Les enzymes industrielles doivent être manipulées avec les précautions adaptées aux protéines techniques. Les guides de sécurité sectoriels recommandent de limiter l'exposition aux poussières ou aérosols enzymatiques, d'éviter l'inhalation et de respecter les mesures d'hygiène industrielle appropriées ^[15]. Ces précautions sont importantes même lorsqu'un produit est utilisé en faible proportion dans un bain, car la sensibilisation respiratoire aux enzymes est un risque reconnu dans les environnements professionnels.

La fiche de données de sécurité fournie avec la commande doit servir de référence pour la manipulation, le stockage, les équipements de protection et les mesures en cas de déversement. Le certificat d'analyse accompagne également la commande et renseigne le lot livré. Ces documents ne transforment pas l'utilisateur en laboratoire d'essai ; ils fournissent simplement les informations documentaires nécessaires à l'usage professionnel du produit .

Positionnement du produit Enzymes.bio

Indigo Decolorizing Enzyme For Denim Washing est proposé par Enzymes.bio pour les opérations de lavage et finition denim où l'objectif est de mieux contrôler l'indigo : réduction de teinte, délavage, soutien à l'effet usé, amélioration de la propreté visuelle ou intégration dans une recette plus douce. Le

produit est vendu directement en ligne par unité de 1 kg ; Enzymes.bio agit comme fournisseur et non comme fabricant ou laboratoire .

Pour l'utilisateur professionnel, la valeur du produit réside dans son intégration au procédé. Les données scientifiques disponibles soutiennent plusieurs bases techniques : les enzymes sont établies en finition textile, les cellulases sont pertinentes pour le denim, les laccases peuvent contribuer au blanchiment enzymatique et les systèmes enzymatiques sont étudiés pour la décoloration de colorants textiles ^[3] ^[1] ^[6]. La performance réelle dépend toutefois du tissu, de la teinture, de la machine et de la recette.

Conclusion

Une enzyme de décoloration de l'indigo pour lavage denim est un outil de bioprocédé destiné à modifier l'apparence de vêtements teints à l'indigo de manière plus ciblée qu'une abrasion ou une oxydation non spécifique. Son action peut impliquer la modification douce de la surface cellulosique, la libération d'indigo, la transformation oxydative de structures colorées et l'amélioration de la gestion du colorant dans le bain ^[1].

Pour une blanchisserie denim, l'intérêt principal est la maîtrise du rendu : délavage plus contrôlé, meilleure netteté de nuance, contribution à un procédé plus doux et possibilité de réduire certaines étapes agressives selon la recette. Comme tout traitement enzymatique, il doit être intégré avec rigueur aux paramètres de lavage — pH, température, temps, mécanique, auxiliaires, rinçage et nature du denim — afin d'obtenir un résultat reproductible sans compromettre la qualité textile ^[4].

Commander Indigo Decolorizing Enzyme For Denim Washing 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 Indigo Decolorizing Enzyme For Denim Washing →](#)

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. Patra, A., Madhu, A., & Bala, N. (2018). Enzyme washing of indigo and sulphur dyed denim. *Fashion and Textiles*, 5, 1-15.
2. Paul, R. (2015). Denim and jeans: An overview.
3. Kumar, D., Bhardwaj, R., Jassal, S., Goyal, T., Khullar, A., & Gupta, N. (2021). Application of enzymes for an eco-friendly approach to textile processing. *Environmental science and pollution research international*, 30, 71838-71848.
4. Kushwaha, M., Kesarwani, D. P., & Kushwaha, R. (2024). ENZYMES USED FOR SUSTAINABLE WET PROCESSING IN TEXTILE INDUSTRY. *International Journal of Engineering Technology and Management Sciences*.
5. Denim Finishing with Enzymes. *Semantic Scholar* (2006).
6. Panwar, V., Sheikh, J., & Dutta, T. (2020). Sustainable Denim Bleaching by a Novel Thermostable Bacterial Laccase. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 192, 1238 - 1254.
7. Zhang, H., Zhang, X., & Geng, A. (2020). Expression of a novel manganese peroxidase from *Cerrena unicolor* BBP6 in *Pichia pastoris* and its application in dye decolorization and PAH degradation. *Biochemical Engineering Journal*, 153, 107402.
8. Bento, R. M. F., Almeida, M. R., Bharmoria, P., Freire, M., & Tavares, A. P. M. (2020). Improvements in the enzymatic degradation of textile dyes using ionic-liquid-based surfactants. *Separation and Purification Technology*, 235, 116191.
9. Wolela, A., & Agazie, T. (2025). Transforming textile coloration: a review of sustainable and innovative dyeing methods. *Research Journal of Textile and Apparel*.
10. Das, A., Hossain, M. F., Khan, B. U., Rahman, M. M., Asad, M., & Akter, M. (2025). Circular economy: A sustainable model for waste reduction and wealth creation in the textile supply chain. *SPE Polymers*.
11. Salah, S. B., Missaoui, M., Attia, A., Lesage, G., Héran, M., & Amar, R. B. (2024). Treatment of real textile effluent containing indigo blue dye by hybrid system combining adsorption and membrane processes. *Frontiers in Membrane Science and Technology*.
12. Uysaler, T., Altay, P., & Özcan, G. (2023). Investigation of the effect of preparation processes on CO2 laser-faded denim fabric quality. *Research Journal of Textile and Apparel*.
13. Berradi, M., Eddaoukhi, A., El-Aouni, N., Berradi, O., Rissouli, L., Yacoubi, A., Sadiki, M., ... et al. (2024). Treatment of textile model effluents containing indigo dye through the ultrafiltration process using polymer-based membranes. *Interactions*, 246.
14. Oliveira, C. R. S., Oliveira, P. V., Pellenz, L., Aguiar, C. R. L., & Silva Júnior, A. H. (2023). Supercritical fluid technology as a sustainable alternative method for textile dyeing: An approach on waste, energy, and CO2 emission reduction. *Journal of Environmental Science*, 140, 123-145 .
15. Amfep Safe Handling Guide 2023.Pdf. *Amfep*.

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.