

# Cellulase Enzyme For Paper And Pulp Industry : enzyme pour drainage, raffinage, recyclage des fibres et maîtrise des fines

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

La cellulase pour l'industrie papier et pâte est un auxiliaire enzymatique qui hydrolyse de façon contrôlée la cellulose accessible afin de modifier la surface des fibres, améliorer le drainage et contribuer au traitement des fibres recyclées. Dans les procédés papetiers, son intérêt principal n'est pas de dégrader massivement la pâte, mais d'agir sur les zones amorphes, les microfibrilles et la fraction fine lorsque les conditions de pH, température, temps de contact et composition de pâte sont compatibles avec l'activité enzymatique <sup>[1]</sup>.

## Rôle de la cellulase dans les procédés papier et pâte

La cellulase désigne une famille d'enzymes capables de couper les liaisons  $\beta$ -1,4-glycosidiques de la cellulose, polymère majoritaire des fibres végétales utilisées dans la fabrication de pâte à papier. Les préparations cellulasiques peuvent contenir différentes activités, notamment des endoglucanases qui attaquent les zones internes de chaînes accessibles, des exoglucanases ou cellobiohydrolases qui progressent depuis les extrémités de chaînes, et des  $\beta$ -glucosidases qui transforment certains produits intermédiaires en sucres plus simples <sup>[2]</sup>.

Dans une usine papetière, cette capacité d'hydrolyse doit être comprise comme un outil de **modification sélective**. Les fibres destinées au papier ne doivent pas être converties en glucose comme dans une logique de saccharification complète ; elles doivent conserver leur intégrité, leur longueur utile et leur potentiel de liaison. L'objectif est plutôt de modifier la surface des fibres, de réduire certaines contraintes de drainage, d'agir sur les fines cellulosiques et de faciliter certaines étapes de préparation ou de recyclage de la pâte <sup>[1]</sup>.

Cette approche est particulièrement pertinente dans les lignes où la matière première présente une forte variabilité : fibres recyclées, mélanges de pâtes, pâtes issues de résidus agricoles ou matières cellulosiques secondaires. Les résidus agricoles et les biomasses lignocellulosiques sont étudiés comme matières premières pour pâte et papier, mais leur comportement dépend fortement de leur

composition en cellulose, hémicelluloses, lignine, cendres et extractibles <sup>[3]</sup>. Une cellulase ne corrige pas à elle seule cette variabilité, mais elle peut contribuer à rendre certains substrats cellulosiques plus accessibles et plus faciles à traiter.

Chez Enzymes.bio, **Cellulase Enzyme For Paper And Pulp Industry** est positionnée comme une enzyme industrielle destinée aux applications papier et pâte. Enzymes.bio agit comme fournisseur en ligne, et non comme fabricant ni laboratoire ; le produit est vendu directement par unité de 1 kg, avec certificat d'analyse et fiche de données de sécurité fournis avec la commande.

## Pourquoi la cellulase est utile en papeterie

---

Les systèmes papetiers modernes cherchent simultanément à maintenir la qualité du papier, réduire les contraintes de procédé, augmenter l'utilisation de fibres recyclées et limiter les intrants agressifs. Les cellulases et enzymes associées sont étudiées depuis plusieurs décennies pour répondre à ces objectifs dans des opérations comme la préparation de pâte, l'optimisation du raffinage, le désencrage, le drainage et le traitement des eaux de procédé <sup>[4]</sup>.

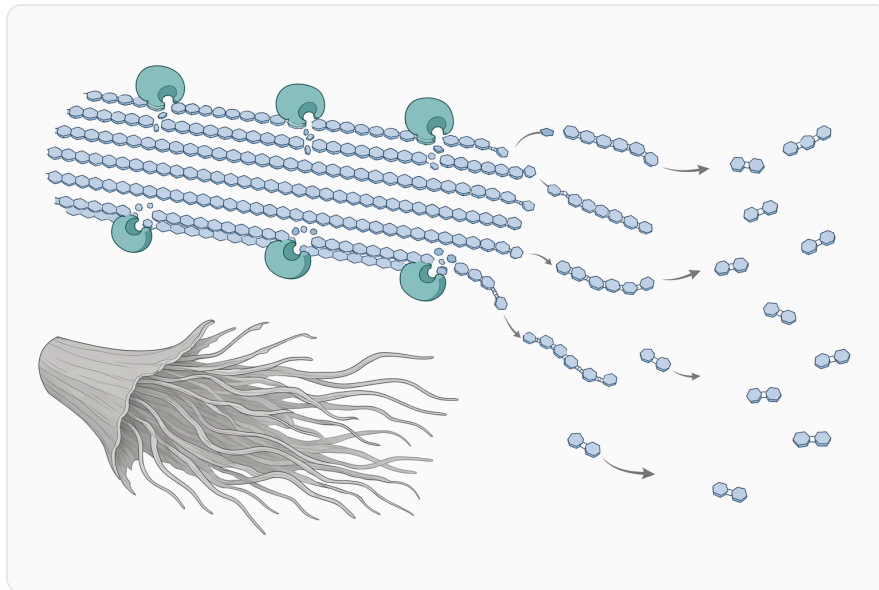
Le point critique est que les fibres cellulosiques ne sont pas toutes équivalentes. Une fibre vierge de pâte kraft blanchie, une fibre mécanique, une fibre de papier recyclé plusieurs fois séchée, ou une fraction fine présente dans l'eau blanche n'offrent pas la même accessibilité enzymatique. Les études sur l'hydrolyse de celluloses de différentes origines montrent que la cristallinité, la masse molaire moyenne, la teneur en hémicelluloses et l'état structural du substrat influencent fortement la sensibilité aux cellulases <sup>[5]</sup>.

En pratique, l'enzyme peut être pertinente lorsque la limitation du procédé provient d'une fraction cellulosique trop rigide, trop fine, trop lente à drainer ou insuffisamment préparée pour l'étape mécanique suivante. À l'inverse, elle sera moins adaptée à des problèmes dominés par des dépôts hydrophobes, des adhésifs, des cires, des résines ou des contaminants non cellulosiques, pour lesquels d'autres familles enzymatiques ou traitements de procédé peuvent être plus spécifiques <sup>[1]</sup>.

## Mécanisme d'action : hydrolyse contrôlée de la cellulose accessible

---

La cellulose des fibres papetières est organisée en régions cristallines relativement résistantes et en régions amorphes plus accessibles. Les cellulases agissent préférentiellement là où la chaîne cellulosique est exposée : surfaces de fibres, microfibrilles, zones endommagées par le raffinage, fines, fragments de paroi et particules cellulosiques présentes dans les circuits d'eau <sup>[6]</sup>.



**Figure 1.** 셀룰라아제는 섬유벽 전체를 균일하게 분해하기보다 먼저 접근 가능한 셀룰로오스 표면, 피브릴, 미세분, 비정질 영역에 작용한다.

Les endoglucanases sont particulièrement importantes pour les applications papier, car elles peuvent couper des chaînes internes de cellulose dans les zones accessibles. Cette action réduit localement le degré de polymérisation, modifie la flexibilité superficielle, libère des fragments solubles ou colloïdaux et peut changer les interactions entre fibres et eau. Une hydrolyse modérée peut améliorer la préparation de la pâte ; une hydrolyse excessive peut au contraire affaiblir les fibres ou modifier défavorablement les propriétés mécaniques [1].

Le mécanisme est donc un équilibre. Trop peu d'action enzymatique donne un effet faible ou non mesurable ; trop d'action peut raccourcir ou fragiliser la fraction cellulosique utile. Les travaux sur l'hydrolyse enzymatique de la cellulose montrent que la susceptibilité du substrat augmente lorsque la cristallinité et le degré de polymérisation diminuent, ce qui explique pourquoi des fibres déjà recyclées, raffinées ou mécaniquement endommagées peuvent répondre différemment de fibres plus intactes [6].

## Applications principales dans l'industrie papier et pâte

### Amélioration du drainage et de la déshydratation

Le drainage est un facteur déterminant de la productivité papetière. Une pâte qui retient trop d'eau peut limiter la vitesse machine, augmenter la charge de séchage et compliquer la stabilité de la feuille humide. Les cellulases sont étudiées comme auxiliaires de drainage parce qu'elles peuvent modifier les surfaces fibreuses et réduire l'effet de certaines fines cellulosiques qui obstruent la structure poreuse du matelas fibreux [7].

Dans les pâtes recyclées, le drainage est souvent plus difficile que dans les pâtes vierges. Les fibres ont déjà subi séchage, réhumidification, raffinage et plusieurs cycles mécaniques ; elles peuvent devenir plus rigides, générer davantage de fines et retenir l'eau différemment. Les revues consacrées au recyclage papetier soulignent que les enzymes, dont les cellulases alcalines, peuvent contribuer à résoudre certains problèmes liés au traitement des fibres secondaires <sup>[7]</sup>.

L'effet attendu n'est pas une augmentation automatique du drainage dans tous les systèmes, mais une amélioration possible lorsque la fraction limitante est cellulosique et accessible. Les paramètres de procédé restent décisifs : nature de la pâte, température, pH, temps de contact, charge minérale, polymères de rétention, biocides et degré de fermeture du circuit d'eau influencent l'efficacité observée <sup>[8]</sup>.

### **Optimisation du raffinage**

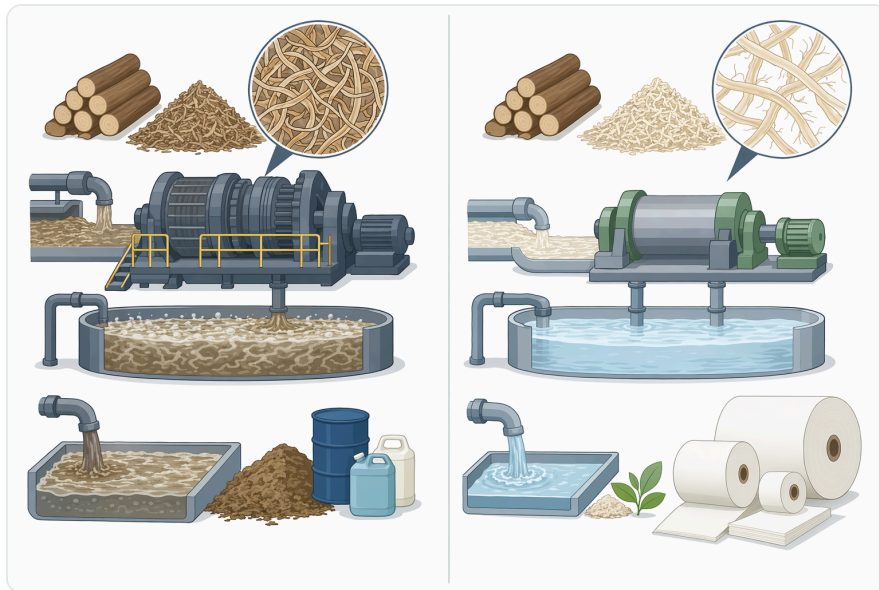
Le raffinage mécanique développe la surface spécifique des fibres, favorise la fibrillation et améliore les liaisons fibre-fibre. Mais il consomme de l'énergie, peut générer des fines supplémentaires et doit être équilibré pour éviter une perte de drainage. La cellulase peut être utilisée comme prétraitement ou co-traitement afin de rendre certaines zones de la fibre plus accessibles à l'action mécanique <sup>[9]</sup>.

Une étude récente sur l'effet de la cellulase dans le raffinage d'une pâte kraft blanchie de résineux a évalué l'influence du traitement enzymatique sur le processus de raffinage et les propriétés de la pâte. Ce type de travail illustre l'intérêt industriel de la cellulase non comme substitut du raffineur, mais comme outil d'ajustement de la réponse fibreuse au raffinage <sup>[9]</sup>.

Le bénéfice potentiel dépend fortement du point de départ. Sur une pâte déjà très raffinée ou riche en fines, l'ajout d'une cellulase peut nécessiter un pilotage plus prudent pour éviter d'accentuer la production de fragments. Sur une pâte trop peu développée, l'action enzymatique peut faciliter l'ouverture superficielle et améliorer l'efficacité de l'étape mécanique suivante <sup>[10]</sup>.

### **Maîtrise des fines dans l'eau blanche de papier recyclé**

Les fines cellulosiques sont des particules de petite taille issues des parois fibreuses, du raffinage, du recyclage et de la désintégration mécanique. Elles peuvent améliorer certaines propriétés de surface ou de liaison lorsqu'elles sont bien retenues, mais elles peuvent aussi dégrader le drainage, augmenter la turbidité, perturber la rétention et s'accumuler dans les circuits d'eau fermés <sup>[11]</sup>.



**Figure 2.** 제지 산업에서 셀룰라아제의 활용은 가벼운 섬유 표면 개질부터 당 방출을 위한 강도 높은 가수분해까지 다양하며, 공정 목표와 위험 수준도 서로 다르다.

Une étude consacrée à la réduction des fines dans l'eau blanche de papier recyclé a examiné l'usage de cellulases pour hydrolyser une partie de cette fraction cellulosique. Les auteurs ont relié l'action enzymatique à une diminution des indicateurs associés aux particules fines et à la formation de produits solubles issus de l'hydrolyse, ce qui soutient l'hypothèse d'une conversion partielle des fines cellulosiques accessibles [11].

Cette application est importante pour les usines de papier recyclé, car la fermeture des boucles d'eau concentre les matières dissoutes et colloïdales. Une cellulase peut contribuer à transformer une partie des particules cellulosiques problématiques en molécules plus petites, mais l'effet doit être interprété dans le contexte complet de la chimie humide : rétention, clarification, traitement des eaux, conductivité et charge colloïdale [11].

### Désencrage et préparation des papiers recyclés

Le désencrage enzymatique repose souvent sur une combinaison d'activités capables de modifier la surface des fibres, de libérer les particules d'encre et d'améliorer leur séparation lors de la flottation ou du lavage. Les cellulases peuvent participer à cette étape en agissant sur la couche superficielle cellulosique à laquelle les encres et liants sont associés, mais elles ne constituent pas à elles seules un système complet de désencrage [12].

Une étude sur un complexe cellulase-xylanase produit par *Escherichia coli* SD5 a évalué la modification de pâte et l'efficacité de désencrage, montrant l'intérêt de combiner des activités ciblant à la fois la cellulose et les hémicelluloses. Cette synergie est cohérente avec la structure des fibres papetières, où

cellulose, hémicelluloses et composants résiduels interagissent dans la paroi fibreuse [12].

Dans une ligne industrielle, le résultat du désencrage dépend aussi de la nature du papier récupéré, du type d'encre, du vieillissement de l'imprimé, des tensioactifs, de la flottation, du lavage, de la température et du pH. La cellulase doit donc être décrite comme un auxiliaire possible du désencrage, particulièrement lorsqu'une modification contrôlée de la surface fibreuse améliore la libération ou la séparation des contaminants [4].

### Modification morphologique des fibres

La morphologie des fibres — longueur, largeur, courbure, fibrillation, proportion de fines et état de surface — conditionne la formation de feuille, la résistance mécanique, le drainage et l'aptitude au raffinage. Des travaux récents sur l'effet des conditions d'incubation lors de l'hydrolyse cellulase de pâte mécanique ont examiné les changements de morphologie fibreuse, confirmant que les paramètres de traitement influencent directement la réponse de la fibre [10].

Cette observation est essentielle pour les applications papier : la cellulase n'est pas simplement un additif chimique ajouté à un flux, mais un catalyseur dont l'action dépend du contact avec un substrat solide hétérogène. Deux pâtes ayant la même consistance apparente peuvent répondre différemment si leur surface spécifique, leur teneur en fines ou leur historique de séchage diffèrent [10].

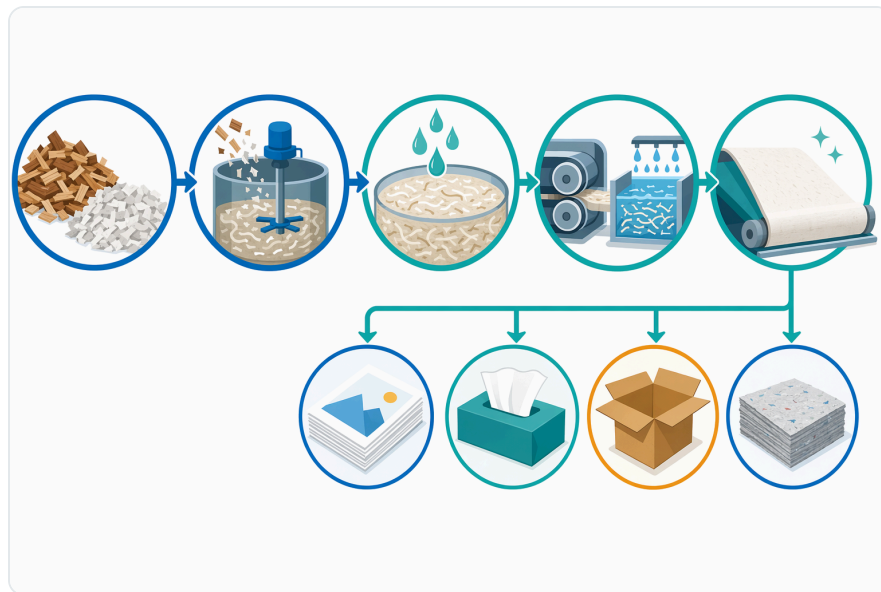
### Tableau comparatif des usages papetiers de la cellulase

Application papetière	Problème visé	Effet enzymatique recherché	Niveau de prudence technique
Drainage de pâte	Égouttage lent, forte rétention d'eau	Modification de fibres et fines cellulosiques accessibles	Surveiller l'équilibre drainage/résistance [7]
Prétraitement de raffinage	Énergie mécanique élevée, développement fibreux difficile	Surface fibreuse plus réactive au raffinage	Éviter une hydrolyse trop poussée [9]
Eau blanche recyclée	Accumulation de fines et colloïdes cellulosiques	Hydrolyse partielle de particules cellulosiques fines	Tenir compte de la chimie humide et du traitement des eaux [11]
Désencrage	Libération imparfaite des particules d'encre	Modification de surface, surtout en synergie avec xylanases	Ne remplace pas la flottation ni la chimie de désencrage [12]

Application papetière	Problème visé	Effet enzymatique recherché	Niveau de prudence technique
Fibres secondaires	Fibres rigidifiées, drainage réduit, qualité variable	Ajustement de la fraction cellulosique accessible	Dépend du nombre de cycles de recyclage et des contaminants [4]

## Cellulase et fibres recyclées : un domaine d'intérêt majeur

Le recyclage du papier augmente la durabilité de la filière, mais il modifie profondément la qualité des fibres. Les fibres recyclées sont souvent plus courtes, plus rigides, moins gonflables et plus chargées en fines que les fibres vierges. Les traitements enzymatiques sont donc étudiés pour améliorer leur traitement sans recourir exclusivement à des actions mécaniques ou chimiques plus intensives [4].



**Figure 3.** 재생지 탈묵 공정에서는 세척이나 부유선별로 떨어져 나온 입자를 제거하기 전에, 셀룰라아제가 셀룰로오스가 풍부한 잉크 부착 부위를 느슨하게 만든다.

Les cellulases alcalines sont particulièrement discutées dans le contexte du recyclage, car de nombreuses opérations papetières fonctionnent dans des conditions proches de la neutralité ou légèrement alcalines. Les revues sur l'application industrielle des cellulases alcalines au recyclage de pâte et papier décrivent leur rôle potentiel dans le drainage, le désencrage, l'amélioration de la préparation des fibres et la réduction de certains problèmes associés aux fibres secondaires [7].

Cette orientation est cohérente avec les enjeux actuels de circularité. Les travaux sur la valorisation de pâte et papier recyclés dans des matériaux isolants ou des produits secondaires montrent que les flux papetiers peuvent être réintégrés dans des usages à valeur ajoutée, à condition de maîtriser la

variabilité et l'état des fibres <sup>[13]</sup>. Dans ce contexte, la cellulase peut faire partie d'un ensemble d'outils destinés à ajuster la matière cellulosique plutôt qu'à la remplacer.

## Interactions avec la structure de la cellulose

---

L'efficacité d'une cellulase dépend de l'accessibilité du substrat. Une cellulose fortement cristalline et peu gonflée est moins facilement hydrolysée qu'une cellulose amorphe, prétraitée, raffinée ou mécaniquement ouverte. Les études comparant sisal, papier filtre et cellulose microcristalline indiquent que la cristallinité, la masse molaire moyenne et la teneur en hémicelluloses influencent la cinétique d'hydrolyse <sup>[5]</sup>.

Dans les pâtes papetières, cela signifie que la même dose pratique d'enzyme peut produire des effets différents selon la matière première. Une pâte kraft blanchie, une pâte mécanique, une pâte de vieux cartons ondulés ou une pâte issue de papiers de bureau récupérés ne présentent pas la même architecture fibreuse. Les travaux sur l'hydrolyse de papier de bureau usagé, de pâte algale et de paille de blé traitée biologiquement illustrent cette diversité de substrats cellulosiques <sup>[14]</sup>.

Les hémicelluloses jouent aussi un rôle. Elles peuvent limiter ou favoriser l'accès aux microfibrilles de cellulose selon leur localisation et leur état. C'est l'une des raisons pour lesquelles les complexes cellulase-xylanase sont étudiés pour la modification de pâte et le désencrage : la xylanase peut agir sur les hémicelluloses, tandis que la cellulase agit sur la cellulose accessible <sup>[12]</sup>.

## Conditions de procédé influençant la performance

---

La cellulase est sensible à son environnement. Les facteurs les plus importants sont le pH, la température, le temps de contact, la consistance de pâte, l'intensité du mélange, l'accessibilité des fibres et la présence d'additifs ou contaminants. Ces facteurs ne sont pas de simples détails opératoires : ils déterminent si l'enzyme reste active, si elle atteint la surface cellulosique et si l'hydrolyse reste dans une zone utile <sup>[10]</sup>.

La chimie humide peut également modifier l'effet observé. Les polymères de rétention, charges minérales, biocides, agents de collage, surfactants, sels dissous et matières colloïdales peuvent influencer l'adsorption enzymatique ou l'accessibilité de la cellulose. Les outils de modélisation chimiométrique sont de plus en plus discutés dans l'industrie papetière parce qu'ils permettent de relier des variables multiples à la qualité et à la stabilité du procédé <sup>[8]</sup>.

Il faut aussi considérer le temps disponible dans la ligne. Une enzyme a besoin d'un contact suffisant avec la fraction cellulosique ciblée, mais un temps excessif peut augmenter le risque de modification indésirable. Le choix du point d'addition — préparation de pâte, cuvier, boucle d'eau, étape avant raffinage ou zone liée au recyclage — dépend donc de l'objectif : drainage, raffinage, fines, désencrage ou ajustement morphologique [1].

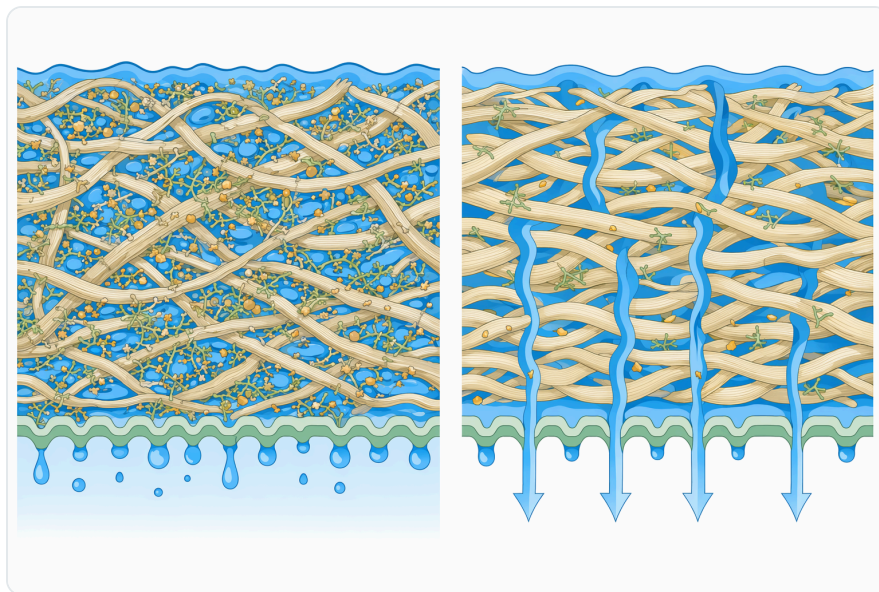


Figure 4. 셀룰라아제는 미세분, 피브릴, 섬유 팽윤, 기공 구조를 변화시켜 배수성과 보수성에 영향을 줄 수 있다.

## Bénéfices attendus et limites réalistes

Le premier bénéfice attendu est une meilleure maîtrise de l'eau dans la pâte. Lorsque l'enzyme réduit l'effet de fines cellulosiques obstructives ou modifie favorablement la surface des fibres, le drainage peut devenir plus facile. Cette amélioration peut soutenir la stabilité de marche, mais elle doit toujours être reliée aux propriétés finales du papier, car un drainage plus rapide ne doit pas se faire au détriment de la résistance ou de la formation [7].

Le deuxième bénéfice potentiel concerne l'efficacité du raffinage. En rendant certaines zones de la fibre plus sensibles à l'action mécanique, la cellulase peut contribuer à atteindre un développement fibreux donné avec une sollicitation mécanique différente. Les études sur le raffinage de pâte kraft blanchie montrent que cet usage est suffisamment important pour faire l'objet d'évaluations spécifiques en papeterie moderne [9].

Le troisième intérêt concerne la gestion des fines dans les circuits de papier recyclé. Les travaux sur l'eau blanche recyclée montrent que l'hydrolyse enzymatique peut réduire certains indicateurs associés aux fines, ce qui est pertinent dans des circuits fermés où ces particules s'accumulent [11].

Toutefois, les produits solubles formés par hydrolyse doivent être considérés dans l'équilibre global du système, notamment en relation avec le traitement des eaux et la charge organique.

La limite principale est le risque d'hydrolyse excessive ou mal ciblée. Une cellulase trop active dans un contexte inadéquat peut réduire la longueur effective des chaînes, accroître certaines fines ou affecter les propriétés mécaniques. Les études sur les relations entre degré de polymérisation, cristallinité et hydrolyse rappellent que plus une cellulose devient accessible, plus elle peut devenir sensible à une action enzymatique ultérieure <sup>[6]</sup>.

## Différence entre cellulase, xylanase et autres enzymes papetières

---

La cellulase cible principalement la cellulose, c'est-à-dire la structure fondamentale des fibres. La xylanase agit plutôt sur les xylanes, hémicelluloses importantes dans de nombreuses pâtes, et elle est souvent associée au blanchiment enzymatique, à la modification de pâte ou au désencrage en combinaison avec la cellulase <sup>[12]</sup>.

Les lipases, cutinases ou estérases répondent à d'autres problématiques : graisses, esters, adhésifs, contaminants hydrophobes ou dépôts. Elles ne remplacent pas la cellulase lorsqu'il s'agit de modifier des fibres ou fines cellulosiques, mais elles peuvent être plus pertinentes pour des problèmes de stickies ou de dépôts organiques non cellulosiques <sup>[1]</sup>.

Cette distinction évite une erreur fréquente : parler "d'enzymes papetières" comme s'il s'agissait d'une catégorie unique. En réalité, chaque famille enzymatique a un substrat privilégié, un mécanisme spécifique et un domaine d'application. Pour la cellulase, le cœur d'usage reste la cellulose accessible : surface fibreuse, microfibrilles, fines, fibres recyclées et zones amorphes de la paroi cellulaire <sup>[2]</sup>.

## Place des cellulases dans une papeterie plus durable

---

Les enzymes intéressent l'industrie papetière parce qu'elles permettent des transformations ciblées dans l'eau, à des conditions généralement plus modérées que de nombreux traitements chimiques sévères. Les revues sur les cellulases et enzymes associées dans l'industrie pâte et papier soulignent leur potentiel dans des procédés plus sobres, notamment pour le recyclage, le drainage, le désencrage et la modification fibreuse <sup>[1]</sup>.

La durabilité ne vient cependant pas de l'enzyme seule. Elle dépend de l'ensemble du procédé : type de fibre, rendement matière, consommation d'énergie, gestion de l'eau, stabilité machine et qualité du papier final. Les résidus agricoles, les fibres recyclées et les rejets papetiers sont tous étudiés comme ressources cellulosiques, mais leur valorisation exige des procédés adaptés à leur hétérogénéité <sup>[3]</sup>.



**Figure 5.** 제지 및 펄프 분야에서 셀룰라아제는 탈묵, 백수 내 미세분 관리, 배수 개선, 고해 보조, 바이오표백 보조, 나노셀룰로오스 생산, 슬러지 자원화 등에 활용된다.

Les rejets fibreux non recyclables des papeteries font également l'objet de recherches en bioconversion. Des travaux sur l'hydrolyse enzymatique de rejets fibreux de papeterie pour la production de polyhydroxybutyrate illustrent que la cellulose résiduelle peut devenir une ressource dans d'autres chaînes de valeur, même si cette application dépasse la fabrication directe du papier [15].

## Innovations et perspectives techniques

Les recherches récentes explorent de nouvelles façons d'améliorer l'action des enzymes sur les fibres papetières. La co-immobilisation de laccase et cellulase dans des hydrogels a par exemple été étudiée pour améliorer la flexibilité de fibres de pâte de bambou, montrant l'intérêt de combiner des activités enzymatiques et des supports fonctionnels pour agir sur la structure fibreuse [16].

Ces approches ne remplacent pas les usages industriels courants, mais elles montrent l'évolution du domaine : l'enzyme n'est plus seulement vue comme un additif ponctuel, mais comme un outil d'ingénierie de surface fibreuse. Les futurs développements pourraient mieux relier morphologie des fibres, adsorption enzymatique, chimie humide et modèles prédictifs de qualité papier [8].

Pour les utilisateurs industriels, la conclusion pratique reste simple : la cellulase est surtout pertinente lorsque le problème est lié à la cellulose accessible. Les applications les plus cohérentes sont le drainage, la préparation des fibres secondaires, la réduction de certaines fines, l'optimisation du raffinage et l'aide au désencrage dans des systèmes où la modification de surface fibreuse est bénéfique [4].

## Positionnement de Cellulase Enzyme For Paper And Pulp Industry d'Enzymes.bio

**Cellulase Enzyme For Paper And Pulp Industry** s'adresse aux applications professionnelles de pâte et papier où une hydrolyse contrôlée de cellulose accessible peut soutenir le procédé. Les usages les plus pertinents sont la modification des fibres, l'amélioration du drainage, l'assistance au traitement des fibres recyclées et la contribution à la gestion des fines dans certains circuits papetiers <sup>[1]</sup>.

Le produit doit être compris comme un auxiliaire enzymatique de procédé, non comme une solution universelle. Sa performance dépend de la pâte, de la fraction fine, du pH, de la température, du temps de contact, de la chimie humide et des objectifs de qualité papier. Cette dépendance au contexte est cohérente avec les études montrant que les conditions d'incubation et la morphologie des fibres influencent directement l'effet d'une cellulase <sup>[10]</sup>.

Enzymes.bio fournit le produit en ligne par unité de 1 kg. Le certificat d'analyse et la fiche de données de sécurité sont fournis avec la commande. Cette présentation convient à un usage industriel documenté, tout en gardant une formulation prudente : la cellulase peut améliorer ou faciliter certaines opérations papetières lorsque le système contient des substrats cellulosiques accessibles et que le procédé permet une action enzymatique maîtrisée.

### Commander Cellulase Enzyme For Paper And Pulp Industry 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 Cellulase Enzyme For Paper And Pulp Industry →](#)

## 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. Imran, M., Bano, S., Nazir, S., Javid, A., Asad, M., & Yaseen, A. (2019). Cellulases Production and Application of Cellulases and Accessory Enzymes in Pulp and Paper Industry: A Review.
2. Roohi, Bano, K., Parveen, S., Khan, F., Zaheer, M., & Kuddus, M. (2019). Advancements in Bioprocess Technology for Cellulase Production. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*.
3. Worku, L. A., Bachheti, A., Bachheti, R. K., Reis, C. E. R., & Chandel, A. (2023). Agricultural Residues as Raw Materials for Pulp and Paper Production: Overview and Applications on Membrane Fabrication. *Membranes*, 13.

4. Bajpai, P. (2010). Solving the problems of recycled fiber processing with enzymes. *BioResources*.
5. Kaschuk, J., & Frollini, E. (2018). Effects of average molar weight, crystallinity, and hemicelluloses content on the enzymatic hydrolysis of sisal pulp, filter paper, and microcrystalline cellulose. *Industrial Crops and Products*, 115, 280-289.
6. Thielemans, K., Bondt, Y. D., Comer, L., Raes, J., Everaert, N., Sels, B., & Courtin, C. (2023). Decreasing the Crystallinity and Degree of Polymerization of Cellulose Increases Its Susceptibility to Enzymatic Hydrolysis and Fermentation by Colon Microbiota. *Foods*, 12.
7. Yakubu, A., & Vyas, A. (2023). INDUSTRIAL APPLICATION OF ALKALINE CELLULASE ENZYMES IN PULP AND PAPER RECYCLING: A REVIEW. *Cellulose Chemistry and Technology*.
8. Uddin, M. N., Rahman, M. M., Likhon, M., & Jahan, M. (2024). Unlocking potential: the role of chemometric modeling in pulp and paper manufacturing. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 40, 71 - 82.
9. Park, S. G., Tak, J., Lee, J. Y., Shin, K. S., & Park, S. I. (2024). Evaluation of cellulase effect on the refining process of softwood bleached kraft pulp. *BioResources*.
10. Frias, M., Reynoso, S., Rambhia, S., Noki, G., Olson, J., Stoeber, B., & Trajano, H. L. (2024). Effect of incubation conditions of cellulase hydrolysis on mechanical pulp fibre morphology. *Carbohydrate Polymers*, 344, 122529 .
11. Jevtović, Đ., Živković, P., Milivojević, A., Bezbradica, D., & Auwera, L. V. D. (2023). Reduction of fines in recycled paper white water via cellulase enzymes. *BioResources*.
12. Kumar, N. V., Rani, M. E., Gunaseeli, R., & Kannan, N. (2018). Paper pulp modification and deinking efficiency of cellulase-xylanase complex from Escherichia coli SD5. *International Journal of Biological Macromolecules*, 111, 289-295 .
13. Lee, M., Sarkar, A., Guo, Z., Zhou, C., Armstrong, J., & Ren, S. (2023). Additive manufacturing of eco-friendly building insulation materials by recycling pulp and paper. *Nanoscale Advances*, 5, 2547 - 2552.
14. Jain, K. K., Kumar, S., Deswal, D., & Kuhad, R. C. (2017). Improved Production of Thermostable Cellulase from Thermoascus aurantiacus RCKK by Fermentation Bioprocessing and Its Application in the Hydrolysis of Office Waste Paper, Algal Pulp, and Biologically Treated Wheat Straw. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 181, 784-800.
15. Jia, L., Juneja, A., Majumder, E. L., Ramarao, B., & Kumar, D. (2024). Efficient Enzymatic Hydrolysis and Polyhydroxybutyrate Production from Non-Recyclable Fiber Rejects from Paper Mills by Recombinant Escherichia coli Processes.
16. Hu, M., Yang, J., Yin, L., Liu, L., Cheng, Z., Liu, H., & An, X. (2026). Synergistic Enhancement of Laccase-Cellulase via Co-Immobilization in a CMS/CPAM/PDA Hydrogel for Bamboo Pulp Fiber Flexibility. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.

## Contacter Enzymes.bio

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

E-MAIL [wholesale@enzymes.bio](mailto: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.