

# Cellulase acide pour hydrolyser les fibres : enzyme de dégradation de la cellulose pour aliments, biomasse, textile et ingrédients végétaux

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

La cellulase acide est une préparation enzymatique destinée à couper les liaisons  $\beta$ -1,4-glycosidiques de la cellulose dans des matrices végétales riches en fibres, en conditions acides ou légèrement acides. Elle est utilisée pour ouvrir les parois cellulaires, modifier les fibres alimentaires ou textiles, faciliter l'extraction de composés végétaux et soutenir la saccharification de biomasse prétraitée. Enzymes.bio fournit ce produit directement en ligne par unité de 1 kg ; le certificat d'analyse et la fiche de données de sécurité sont fournis avec la commande .

## Ce que désigne une cellulase acide

Une **cellulase acide** est une enzyme, ou plus exactement une préparation enzymatique à dominante cellulolytique, conçue pour hydrolyser la cellulose lorsque le procédé se déroule dans une zone de pH acide. La cellulose est un polymère linéaire de glucose : ses unités sont reliées par des liaisons  $\beta$ -1,4-glycosidiques, qui confèrent aux fibres végétales leur rigidité et leur résistance mécanique. Les cellulases hydrolysent ces liaisons et transforment progressivement les chaînes cellulosiques en fragments plus courts, puis en sucres plus simples lorsque le système enzymatique contient les activités complémentaires nécessaires <sup>[1]</sup>.

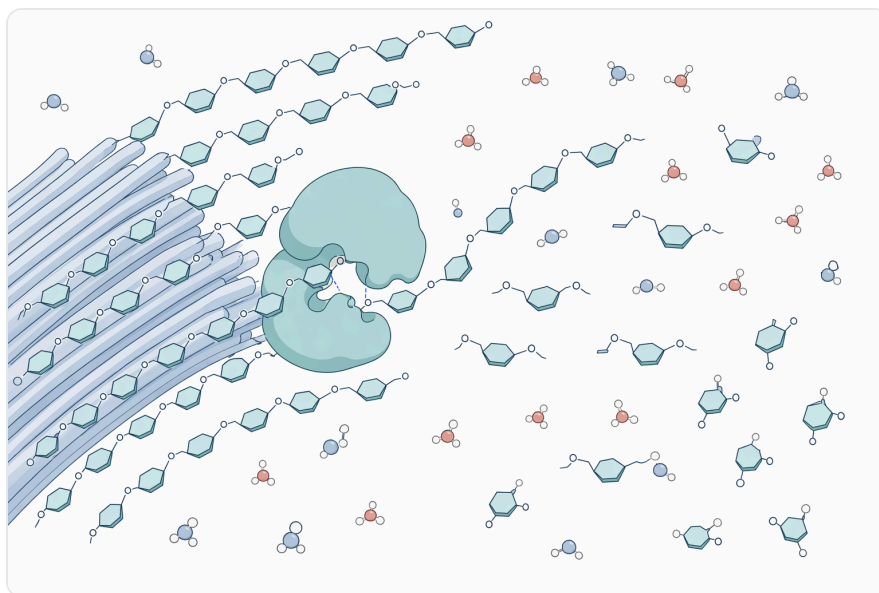
Dans la pratique industrielle, le terme « cellulase » ne renvoie pas toujours à une seule protéine isolée. Les systèmes cellulolytiques associent généralement plusieurs activités : les endoglucanases créent des coupures internes dans les chaînes, les cellobiohydrolases progressent depuis les extrémités accessibles, et les  $\beta$ -glucosidases peuvent convertir le cellobiose et d'autres petits oligomères en glucose. Cette complémentarité explique pourquoi la performance dépend autant de la composition enzymatique que de l'accessibilité physique de la cellulose dans la matrice végétale <sup>[1]</sup>.

L'adjectif **acide** est important pour le choix d'application. Les fruits, certaines pulpes végétales, des substrats lignocellulosiques prétraités, des coproduits alimentaires et plusieurs procédés de finition textile fonctionnent dans des conditions où une cellulase active en milieu acide est plus pertinente qu'une cellulase alcaline. À l'inverse, les applications de recyclage papetier ou de détergence peuvent mobiliser d'autres familles, notamment des cellulases neutres ou alcalines selon l'objectif technologique [[14], [26]].

## Mécanisme : comment la cellulase hydrolyse la fibre

La cellulose peut être décrite comme un faisceau de chaînes de glucose fortement associées entre elles. Dans les parois végétales, ces chaînes ne sont pas isolées : elles sont enchâssées avec des hémicelluloses, des pectines, de la lignine, des protéines de paroi et des composés phénoliques. C'est cette organisation qui rend la fibre difficile à hydrolyser. La cellulase n'attaque donc pas une matière uniforme, mais une architecture dont l'accessibilité varie selon l'origine botanique, le broyage, le traitement thermique, le prétraitement chimique et la teneur en eau [[20], [25]].

L'action commence souvent par les **endoglucanases**, qui coupent des régions accessibles à l'intérieur des chaînes de cellulose. Ces coupures abaissent le degré de polymérisation, créent de nouvelles extrémités et fragilisent la structure de la fibre. Les **cellobiohydrolases** peuvent ensuite libérer des unités courtes à partir de ces extrémités, tandis que les  **$\beta$ -glucosidases** limitent l'accumulation de cellobiose en le convertissant en glucose lorsque l'objectif est une hydrolyse poussée. Cette synergie est centrale dans les applications de saccharification et de bioraffinerie [[20], [25]].



**Figure 1.** 산성 셀룰라아제는 수화된 셀룰로오스에서 접근 가능한  $\beta$ -1,4 결합을 가수분해해 사슬 길이를 줄이고 식물 섬유 네트워크를 약화시킨다.

Dans les applications où l'objectif n'est pas de produire du glucose, le même mécanisme est exploité de manière plus partielle. En textile, une hydrolyse superficielle peut enlever des microfibrilles de coton responsables du duvet et du boulochage sans chercher à solubiliser toute la fibre. Dans les ingrédients végétaux, une hydrolyse contrôlée peut modifier la granulométrie fonctionnelle, la capacité de rétention d'eau, la solubilité partielle ou la libération de composés associés à la fraction fibreuse [[2], [14]].

## **Pourquoi l'acidité du procédé compte**

---

Les enzymes sont sensibles au pH, car l'ionisation des acides aminés du site actif et la stabilité de la protéine conditionnent la reconnaissance du substrat. Une cellulase acide est donc choisie lorsque la matrice ou le procédé impose un environnement acide : pulpes de fruits, coproduits végétaux acidifiés, biomasses après certains prétraitements, ou traitements textiles compatibles avec une acidité contrôlée. L'avantage n'est pas seulement l'activité enzymatique ; c'est aussi la possibilité de limiter les corrections de pH qui compliqueraient le procédé ou modifieraient le produit fini <sup>[1]</sup>.

La comparaison avec l'hydrolyse acide chimique est utile. L'hydrolyse acide de la cellulose, étudiée par exemple pour extraire des nanocristaux de cellulose à partir de fibres végétales, repose sur une coupure chimique non enzymatique dans des conditions beaucoup plus agressives que celles visées par une biocatalyse contrôlée <sup>[2]</sup>. La cellulase acide, au contraire, offre une action plus sélective sur les liaisons glucosidiques accessibles et peut être dosée technologiquement pour viser une modification partielle plutôt qu'une déconstruction complète de la fibre.

Cette distinction explique aussi les limites de l'enzyme. Si la cellulose est fortement cristalline, protégée par de la lignine ou enfermée dans une matrice peu hydratée, l'enzyme peut être présente sans accéder efficacement à son substrat. Des travaux sur l'hydrolyse de biomasse montrent que la réduction des barrières physiques et chimiques — par prétraitement, modification de surface ou amélioration de l'accessibilité — est souvent décisive pour augmenter l'action cellulolytique [[25], [36]].

## **Applications principales de la cellulase acide pour hydrolyser les fibres**

---

### **Modification des fibres alimentaires et des coproduits végétaux**

Les fibres alimentaires issues de coproduits végétaux contiennent souvent une fraction insoluble importante, peu accessible et parfois défavorable à certaines propriétés de formulation. L'hydrolyse par cellulase peut modifier cette fraction en ouvrant la structure cellulosique, en changeant la distribution des particules et en rendant certains constituants plus extractibles. Des travaux sur les

fibres de tourteau de coco ont comparé les effets de l'hydrolyse par cellulase, du traitement acide et de la distribution granulométrique sur les propriétés physicochimiques et fonctionnelles des fibres alimentaires [[2], [10]].

La même logique apparaît dans des coproduits plus complexes. Des sous-produits du café ont été modifiés par haute pression dynamique, acétylation et hydrolyse par cellulase afin d'évaluer leur potentiel comme ingrédients fonctionnels et durables [3]. Ces études ne signifient pas qu'une cellulase produit systématiquement le même résultat dans toutes les matrices : elles montrent plutôt que la fibre cellulosique est une cible modulable, et que la fonctionnalité finale dépend du substrat, de la taille des particules, du niveau d'hydrolyse et de la combinaison avec d'autres traitements.

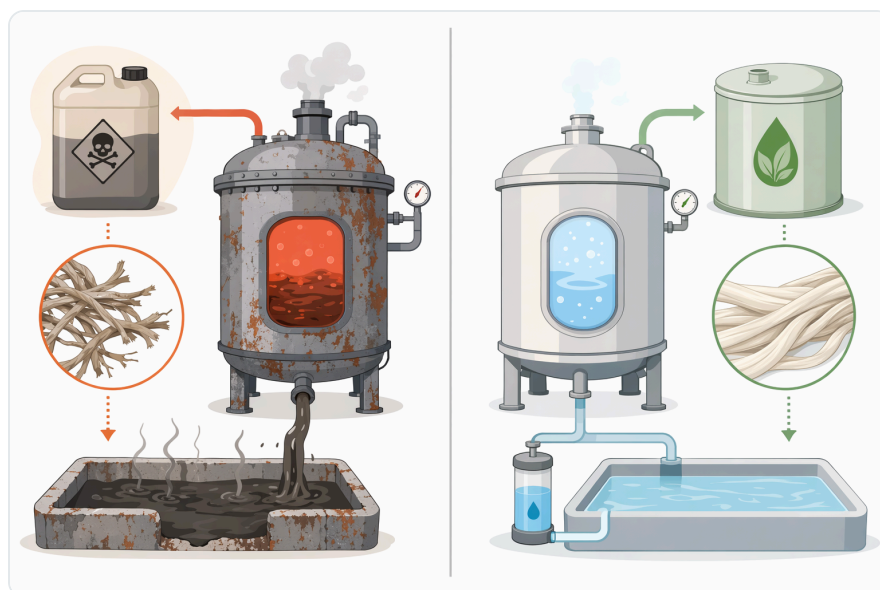


Figure 2. 공정의 pH 조건과 기질이 그 조건을 견디는 정도에 따라 산성, 중성, 알칼리성 셀룰라아제를 선택한다.

La libération de composés liés aux fibres constitue un autre intérêt. Dans la pulpe de jacquier, des polyphénols non extractibles associés à la fibre alimentaire ont été étudiés après hydrolyse alcaline, acide et enzymatique, avec une attention portée à leur contenu, composition et activité antioxydante [4]. Cela illustre un point important pour les ingrédients végétaux : hydrolyser la fibre ne sert pas seulement à la rendre plus soluble ou moins structurante ; cela peut aussi modifier l'accessibilité de molécules liées à la matrice pariétale.

### Ouvrir les parois végétales pour améliorer l'extraction

Dans les fruits, légumes, céréales et coproduits végétaux, une partie des composés d'intérêt reste retenue dans les parois cellulaires. En coupant la cellulose accessible, la cellulase fragilise cette barrière et peut faciliter la libération de jus, de sucres, de polyphénols, d'arômes ou de pigments. Les

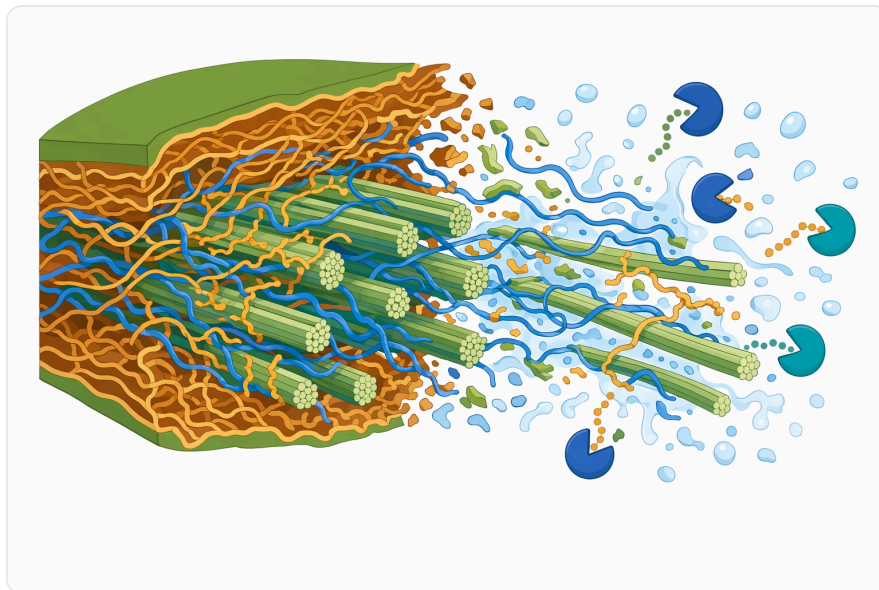
effets sont souvent plus nets lorsque l'enzyme agit avec d'autres activités de paroi, car les parois végétales ne sont pas composées uniquement de cellulose [[20], [39]].

Les recherches récentes sur les matrices céréalières illustrent cette interaction entre fibre, digestibilité et bioaccessibilité. Une étude sur l'avoine a montré que la modification de la fibre alimentaire par supplémentation en cellulase pouvait adapter la digestion simulée à des conditions gastro-intestinales de personnes âgées, avec atténuation de l'hydrolyse de l'amidon et amélioration de la bioaccessibilité des polyphénols [5]. Même si ce type de résultat dépend fortement du modèle et de la matrice, il confirme que l'hydrolyse de la fibre peut changer l'environnement digestif des nutriments.

Dans les résidus agricoles, la libération de composés phénoliques liés aux parois est également un objectif. Des travaux sur la paille de maïs prétraitée ont étudié l'hydrolyse enzymatique combinée et l'opération en fed-batch pour améliorer la production d'acide férulique et d'acide p-coumarique [6]. Ces acides phénoliques sont associés aux architectures lignocellulosiques ; leur récupération dépend donc de la capacité à ouvrir ou désassembler partiellement la matrice fibreuse.

### Saccharification de biomasse et bioraffinerie

Dans la bioraffinerie et les biocarburants, l'objectif principal de la cellulase est la conversion de la cellulose en sucres fermentescibles. La cellulase intervient généralement après un prétraitement de la biomasse lignocellulosique, car la cellulose native est protégée par l'hémicellulose et la lignine. Les applications de cellulase dans la filière biofuel reposent sur cette séquence : rendre le substrat accessible, hydrolyser les polysaccharides, puis valoriser les sucres produits [7].



**Figure 3.** 전처리, 수화, 물리적 파쇄는 산성 셀룰라아제가 도달할 수 있는 셀룰로오스 부위를 늘린다.

La performance de l'hydrolyse dépend fortement de l'adsorption productive de l'enzyme sur la cellulose. Lorsque des composants comme la lignine retiennent l'enzyme sans hydrolyse utile, une partie de l'activité disponible est perdue. Des études sur l'hydrolyse enzymatique de biomasse de bambou ont examiné l'effet de rhamnolipides et leurs mécanismes, notamment dans l'amélioration de l'accès enzymatique et la réduction d'interactions défavorables [8].

D'autres stratégies visent à augmenter la déconstruction de la cellulose par des auxiliaires biologiques. Les monooxygénases lytiques de polysaccharides, ou LPMO, peuvent renforcer la saccharification en oxydant les chaînes de cellulose et en créant de nouveaux points d'attaque pour les hydrolases ; des travaux ont étudié le rôle élargi des donneurs d'électrons dans cette action [9]. Des expansines fongiques ont également été étudiées comme agents de prétraitement capables d'ouvrir la structure de la cellulose et de stimuler la dégradation enzymatique [10].

### **Textile : biopolissage, coton et denim**

Les cellulases sont largement étudiées dans le textile, en particulier pour les fibres de coton. Leur intérêt tient à leur capacité à hydrolyser les microfibrilles superficielles sans nécessairement dégrader la totalité du fil. Cette action peut réduire le duvet, limiter le boulochage, améliorer la douceur au toucher et contribuer à des effets de délavage, notamment dans le denim [11].

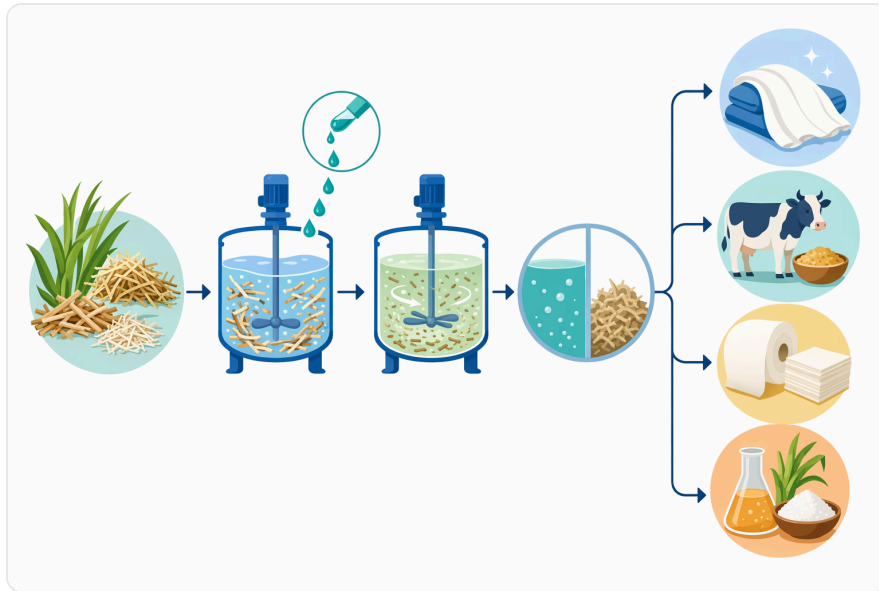
Les cellulases acides ont historiquement été associées à certains traitements de type stonewashing enzymatique, tandis que d'autres familles de cellulases peuvent être choisies pour des finitions plus neutres ou alcalines. Le choix dépend du tissu, de la teinture, de l'effet visuel recherché et du contrôle de la perte de résistance. Une cellulase trop active ou mal maîtrisée peut attaquer au-delà de la surface ; le procédé textile doit donc viser une hydrolyse superficielle contrôlée plutôt qu'une saccharification [11].

Cette application illustre bien la polyvalence de l'enzyme. Dans une bioraffinerie, l'hydrolyse complète est recherchée ; dans le textile, elle serait indésirable. La même famille enzymatique peut donc servir à des objectifs opposés selon le temps de contact, le pH, la température, l'agitation, l'accessibilité des fibrilles et l'arrêt du traitement.

### **Fibres, fourrages et alimentation animale**

Dans les systèmes alimentaires et fourragers, la cellulose fait partie d'un réseau plus large de fibres qui influence la digestibilité et la disponibilité des nutriments. Les cellulases exogènes sont étudiées pour améliorer la dégradation des fibres végétales, souvent en combinaison avec d'autres enzymes comme

les xylanases ou des activités ciblant les liaisons entre hémicellulose, lignine et acides phénoliques. Les résultats dépendent cependant du type de ration, de la flore microbienne, du niveau de lignification et de la compatibilité avec les conditions digestives [12].



**Figure 4.** 바이오매스 전환에서는 전처리가 잔사 구조를 열어 주고, 셀룰라아제가 수용성 당을 방출하며, 후속 발효나 촉매 공정이 그 당을 바이오 기반 제품으로 전환한다.

Dans les ensilages, la dégradation de la fibre peut également être recherchée afin de soutenir la fermentation et la valeur nutritionnelle. Des inoculants producteurs de féruloyl estérase ont été étudiés pour améliorer la dégradation des fibres et moduler la diversité microbienne dans l'ensilage de son de maïs et de plante entière de maïs [13]. Même si cette source ne porte pas uniquement sur la cellulase, elle montre l'importance des enzymes agissant sur l'architecture fibreuse dans les systèmes fermentés.

Les coproduits de fruits sont un autre terrain d'application. Des travaux sur le marc de pomme ont évalué des probiotiques complexes comme remplacements potentiels de cellulase pendant la fermentation, ce qui souligne que l'activité cellulolytique est un levier reconnu pour transformer des résidus riches en fibres [14]. Pour les applications animales, la cellulase doit donc être considérée comme un outil de modification de substrat, et non comme une garantie universelle d'amélioration de performance.

### **Pâte, papier et recyclage des fibres**

Dans l'industrie papetière, les cellulases peuvent être utilisées pour modifier la surface des fibres, faciliter le drainage, contribuer au désencrage ou ajuster certaines propriétés de la pâte. Les cellulases alcalines sont souvent discutées dans le contexte du recyclage papier, car plusieurs étapes papetières

fonctionnent dans des conditions moins acides que les procédés fruitiers ou certains traitements textiles <sup>[15]</sup>.

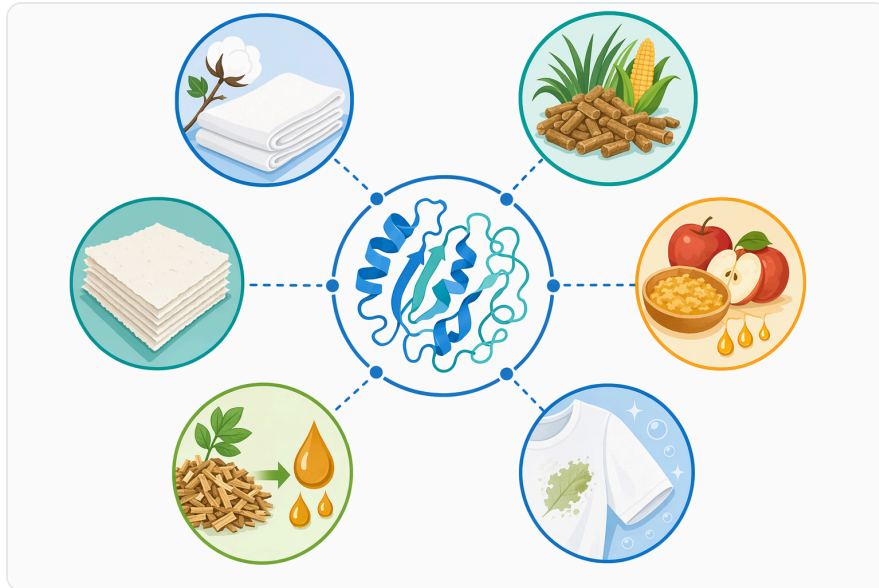
Pour une cellulase acide, l'intérêt papetier dépend donc du procédé exact. Elle peut être pertinente lorsque les conditions de traitement des fibres sont compatibles avec son profil d'activité, mais elle ne doit pas être présentée comme interchangeable avec une cellulase alcaline. La variable critique reste la même : une hydrolyse trop faible n'apporte pas l'effet recherché, tandis qu'une hydrolyse excessive peut fragiliser la fibre.

## Tableau comparatif des usages industriels

Domaine d'application	Objectif principal	Effet attendu de la cellulase acide	Points de vigilance
Ingrédients végétaux et fibres alimentaires	Modifier la fonctionnalité de la fibre	Ouverture partielle de la cellulose, changement de solubilité ou de rétention, meilleure accessibilité de composés liés	Effet très dépendant de la matrice, de la granulométrie et du niveau d'hydrolyse [[2], [9]]
Fruits, pulpes et extraits végétaux	Faciliter l'extraction	Fragilisation des parois, libération de composés piégés, amélioration potentielle de la récupération	Les parois contiennent aussi pectines et hémicelluloses ; une enzyme seule peut être insuffisante [[20], [39]]
Biomasse lignocellulosique	Produire des sucres fermentescibles	Hydrolyse de cellulose prétraitée en oligomères et glucose	Accessibilité de la cellulose, lignine résiduelle et prétraitement déterminants [[25], [36]]
Textile coton et denim	Modifier la surface de la fibre	Retrait de microfibrilles, toucher plus doux, effet de délavage contrôlé	Risque de perte de résistance si l'hydrolyse dépasse la surface <sup>[11]</sup>
Fourrages, ensilage et coproduits	Améliorer la dégradation de la fibre	Ouverture de la paroi végétale et soutien à la fermentation ou digestibilité	Réponse variable selon substrat, microbiote et combinaison enzymatique [[1], [12]]
Papier et fibres recyclées	Ajuster les propriétés de pâte	Modification de surface, drainage ou désencrage selon procédé	Choix entre cellulase acide, neutre ou alcaline selon les conditions <sup>[15]</sup>

## Facteurs qui contrôlent la performance

Le premier facteur est l'**accessibilité de la cellulose**. Une poudre végétale finement broyée, hydratée et partiellement désorganisée expose davantage de surface enzymatique qu'une fibre longue, lignifiée et peu gonflée. Les études sur les fibres alimentaires de coco et les coproduits végétaux montrent que la distribution granulométrique et les traitements associés influencent fortement les propriétés finales, ce qui confirme que l'enzyme ne travaille jamais indépendamment de la structure physique du substrat [[2], [10]].



**Figure 5.** 산성 셀룰라아제는 바이오매스 당화, 식물 추출, 식이섬유 개질, 사료 가공, 섬유 마감, 펄프 또는 종이 섬유 처리에 활용될 수 있다.

Le deuxième facteur est la **composition de la paroi**. Une matrice riche en pectines peut nécessiter une activité pectinolytique pour ouvrir le réseau ; une matrice riche en hémicellulose peut répondre à une combinaison avec des xylanases ou d'autres hémicellulases ; une matrice lignifiée peut adsorber l'enzyme ou limiter son accès à la cellulose. C'est pourquoi les cocktails enzymatiques sont fréquents dans la transformation végétale et la bioraffinerie [[20], [25]].

Le troisième facteur est le **niveau d'hydrolyse visé**. Dans un jus, l'objectif peut être d'améliorer l'extraction sans générer une quantité excessive de particules fines. Dans un ingrédient fibreux, on peut viser une modification de texture et de fonctionnalité. Dans la biomasse, on cherche une conversion plus poussée en sucres fermentescibles. Dans le coton, on veut limiter l'action à la surface. La même cellulase peut donc être utile ou problématique selon que le procédé est arrêté au bon moment.

Le quatrième facteur est l'**environnement du procédé** : pH, température, mélange, temps de contact, teneur en eau et présence de composés inhibiteurs. Les cellulases issues de microorganismes divers présentent des profils variés de stabilité et d'activité, ce qui explique les nombreux travaux portant sur la production, la caractérisation ou l'optimisation de cellulases microbiennes [[16], [17], [18], [23]]. Pour une application B2B, l'enjeu n'est pas de généraliser ces profils, mais de choisir une enzyme cohérente avec les conditions du procédé.

## Ce que montrent les études récentes sur les substrats végétaux

Les publications sur les fibres alimentaires indiquent que l'hydrolyse enzymatique peut modifier les propriétés fonctionnelles de matières végétales sous-utilisées. Le cas des fibres de tourteau de coco est particulièrement instructif, car il compare l'effet de la cellulase à celui d'un traitement acide et de la taille des particules [[2], [10]]. Cela montre que la modification enzymatique peut être intégrée dans une stratégie plus large de structuration d'ingrédients.

Les coproduits de café constituent un autre exemple de valorisation. La modification par hydrolyse de cellulase a été examinée avec d'autres traitements pour produire un ingrédient alimentaire potentiellement fonctionnel et durable [3]. L'intérêt industriel est clair : transformer un résidu riche en parois végétales en matière plus utile, au lieu de le considérer uniquement comme déchet ou charge fibreuse.



**Figure 6.** 데님과 면직물 마감에서 산성 셀룰라아제는 처리가 적절히 제어될 때 주로 노출된 표면 미세섬유에 작용한다.

Les études sur les composés phénoliques liés aux fibres renforcent cette lecture. Les polyphénols non extractibles du jacquier ou les acides férulique et p-coumarique de la paille de maïs ne sont pas seulement dissous dans l'eau ; ils peuvent être liés ou piégés dans l'architecture de la paroi [[5], [6]]. L'hydrolyse enzymatique de la fibre peut donc avoir des effets sur la chimie extractible, pas seulement sur la texture.

Les travaux sur l'avoine ajoutent une dimension nutritionnelle : modifier la fibre peut influencer simultanément la digestion de l'amidon et la bioaccessibilité des polyphénols [5]. Cette interaction est importante pour les formulateurs, car une enzyme cellulolytique peut changer plusieurs paramètres à la fois : viscosité, porosité de la matrice, vitesse d'accès des enzymes digestives et libération de composés bioactifs.

## Limites techniques et interprétation prudente

---

La cellulase acide n'est pas un « solvant biologique » universel de toutes les fibres. Elle agit sur les liaisons cellulosiques accessibles, mais la cellulose cristalline, la lignine, les hémicelluloses, les pectines et la structure particulière peuvent freiner l'action. Dans les biomasses lignocellulosiques, la nécessité de prétraitements et d'auxiliaires pour augmenter l'accessibilité est bien reconnue [[25], [36], [37]].

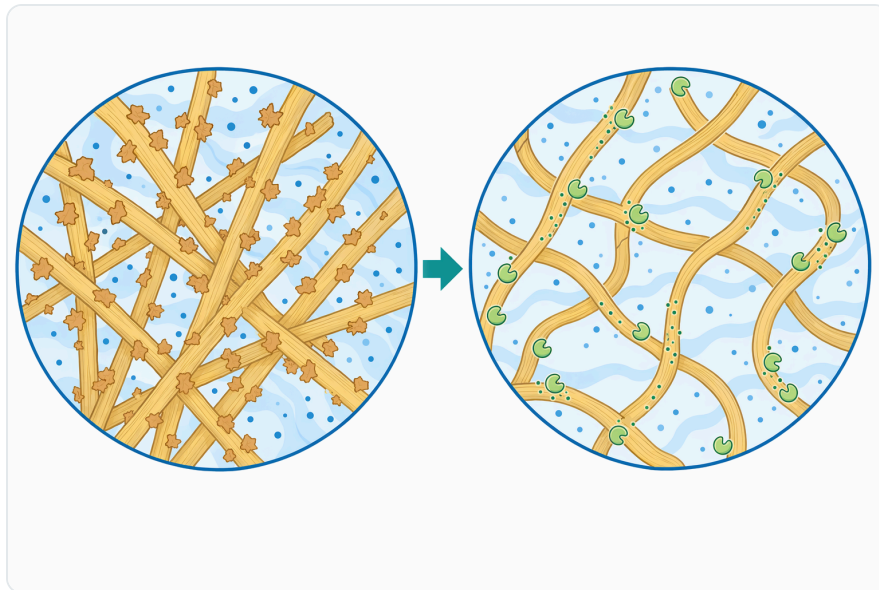
Les résultats publiés sont aussi fortement dépendants du substrat. Une amélioration observée sur fibre de coco, coproduit de café, avoine ou paille de maïs ne peut pas être transposée mécaniquement à une autre matière première. Les différences de composition pariétale, de maturité végétale, de traitement thermique et de broyage peuvent changer la réponse enzymatique [[2], [6], [9]].

Enfin, l'effet recherché doit être défini précisément. Une hydrolyse qui améliore l'extraction peut réduire la tenue mécanique d'une fibre textile ; une action favorable à la saccharification peut être trop poussée pour un ingrédient alimentaire structurant ; une cellulase adaptée à un pH acide peut être peu pertinente dans un procédé alcalin. La sélection d'une cellulase acide doit donc partir de l'objectif de transformation de la fibre, et non du seul nom de l'enzyme.

## Positionnement du produit Enzymes.bio

---

Enzymes.bio fournit une **Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber** destinée aux utilisateurs qui recherchent une cellulase active en conditions acides pour modifier ou hydrolyser des fibres cellulosiques. Enzymes.bio doit être compris comme un fournisseur en ligne, et non comme un fabricant d'enzymes ni comme un laboratoire de développement ou d'analyse. Le produit est vendu directement par unité de 1 kg ; le certificat d'analyse et la fiche de données de sécurité accompagnent la commande .



**Figure 7.** 펄프와 재생 섬유에서 제어된 셀룰라아제 처리는 셀룰로오스를 당으로 완전히 전환하기보다는 접근 가능한 섬유 표면을 개질한다.

Ce positionnement convient aux entreprises qui disposent déjà d'un procédé ou d'une formulation à base de matrices végétales, de fibres cellulosiques ou de substrats lignocellulosiques, et qui souhaitent intégrer une étape d'hydrolyse enzymatique contrôlée. Les usages typiques concernent l'ouverture de parois végétales, la modification de fibres alimentaires, la valorisation de coproduits, la préparation de substrats fermentescibles, certains traitements textiles et des procédés compatibles avec une cellulase acide.

## Synthèse technique

La cellulase acide hydrolyse les fibres cellulosiques en coupant les liaisons  $\beta$ -1,4-glycosidiques de la cellulose. Son efficacité repose sur la synergie entre plusieurs activités cellulolytiques et sur l'accessibilité du substrat. Elle peut ouvrir les parois végétales, modifier les propriétés fonctionnelles des fibres alimentaires, libérer des composés associés à la matrice, contribuer à la production de sucres fermentescibles ou agir sur la surface des fibres textiles [[20], [25]].

Les données disponibles soutiennent des applications concrètes dans les fibres de coco, les coproduits de café, la paille de maïs, l'avoine, les systèmes fourragers, la biomasse et le textile [[2], [6], [7], [9], [14]]. Elles montrent aussi que la performance n'est jamais automatique : elle dépend du substrat, de la structure de la paroi, du prétraitement, du pH, de la température, du temps de contact et du niveau d'hydrolyse recherché.

Pour les clients B2B, la formulation la plus juste est donc la suivante : la cellulase acide est un outil enzymatique de transformation contrôlée des fibres végétales, particulièrement utile lorsque le procédé fonctionne en milieu acide et que l'objectif est d'améliorer l'extraction, la digestibilité, la saccharification, la fonctionnalité d'un ingrédient ou la qualité de surface d'une fibre.

## Commander Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber 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 Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber →](#)

## 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. Maravi, P., & Kumar, A. (2021). Cellulase: Distribution, Production, Characterization and Industrial Applications. *Biotechnology Journal International*.
2. Rana, M. S., Rahim, M. A., Mosharraf, M., Tipu, M. F. K., Chowdhury, J. A., Haque, M. R., Kabir, S., ... et al. (2023). Morphological, Spectroscopic and Thermal Analysis of Cellulose Nanocrystals Extracted from Waste Jute Fiber by Acid Hydrolysis. *Polymers*, 15.
3. Belmiro, R. H., Oliveira, L. C., Geraldi, M. V., Júnior, M. M., & Cristianini, M. (2021). Modification of coffee coproducts by-products by dynamic high pressure, acetylation and hydrolysis by cellulase: A potential functional and sustainable food ingredient. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 68, 102608.
4. Zhang, X., Zhu, K., Xie, J., Chen, Y., Tan, L., Liu, S., Dong, R., ... et al. (2020). Optimization and identification of non-extractable polyphenols in the dietary fiber of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) pulp released by alkaline, acid and enzymatic hydrolysis: Content, composition and antioxidant activities. *Lwt - Food Science and Technology*, 110400.
5. Zhou, Z., Liu, Y., Yamaguchi, S., Ishigaki, Y., Chen, J., Li, J., & Liu, X. (2026). Dietary fiber modification by cellulase-AP3 supplementation tailors oat digestion under elderly gastrointestinal conditions with attenuated starch hydrolysis and enhanced polyphenol bioaccessibility. *Food Chemistry*, 520, 149802 .
6. Qian, S., Gao, S., Jing-Li, Liu, S., Diao, E., Chang, W., Liang, X., ... et al. (2022). Effects of combined enzymatic hydrolysis and fed-batch operation on efficient improvement of ferulic acid and p-coumaric acid production from pretreated corn straws. *Bioresource Technology*, 128176 .
7. Carrigan, J. (2016). Applications of Cellulase in Biofuel Industry.
8. Sha, R., Yu, Z., Zhenzhen, W., Gbor, E. M., Jiang, L., Bi, Y., Fang, S., ... et al. (2020). Effects of Rhamnolipids on Enzymatic Hydrolysis of Bamboo Biomass and Mechanism. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 14, 453-460.

9. Xin, D., Blossom, B. M., Lu, X., & Felby, C. (2022). Improving cellulases hydrolytic action: An expanded role for electron donors of lytic polysaccharide monooxygenases in cellulose saccharification. *Bioresource Technology*, 126662 .
10. Ding, S., Liu, X., Hakulinen, N., Taherzadeh, M., Ya-Wang, Wang, Y., Qin, X., ... et al. (2022). Boosting enzymatic degradation of cellulose using a fungal expansin: structural insight into the pretreatment mechanism. *Bioresource Technology*, 127434 .
11. Korsa, G., Konwarh, R., Masi, C., Ayele, A., & Haile, S. (2023). Microbial cellulase production and its potential application for textile industries. *Annals of Microbiology*, 73, 1-21.
12. Vasta, V., Daghighi, M., Cappucci, A., Buccioni, A., Serra, A., Viti, C., & Mele, M. (2019). Invited review: Plant polyphenols and rumen microbiota responsible for fatty acid biohydrogenation, fiber digestion, and methane emission: Experimental evidence and methodological approaches. *Journal of Dairy Science*, 102 5, 3781-3804 .
13. Yu, Y., Guo, X., Li, H., Yu, C., Liu, H., & Guo, W. (2025). Ferulic Acid Esterase-Producing Inoculant Improves Fiber Degradation and Modulates Microbial Diversity in Corn Bran Silage and Whole-Plant Corn Silage. *Microorganisms*, 13.
14. Wang, Z., Tang, H., Li, Y., Tian, L., Ye, B., Yan, W., Liu, G., ... et al. (2024). Evaluating the dynamic effects of complex probiotics as cellulase replacements during fermentation of apple pomace. *Journal of food microbiology*, 425, 110896 .
15. Yakubu, A., & Vyas, A. (2023). INDUSTRIAL APPLICATION OF ALKALINE CELLULASE ENZYMES IN PULP AND PAPER RECYCLING: A REVIEW. *Cellulose Chemistry and Technology*.

## Contactez 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.