

# Lyocell Dissolving Pulp Activation Enzyme : activation enzymatique des pâtes dissolvantes pour Lyocell, viscose et fibres cellulosiques régénérées

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

Une **Lyocell Dissolving Pulp Activation Enzyme** est une préparation enzymatique utilisée pour rendre une pâte dissolvante cellulosique plus accessible, plus réactive et plus régulière avant les étapes de dissolution ou de transformation en fibres régénérées. Les travaux disponibles montrent surtout des effets associés aux cellulases, endoglucanases et systèmes apparentés : réduction contrôlée de la viscosité, modification de l'accessibilité de la cellulose et amélioration de paramètres de dissolution ou de réactivité selon la pâte et le procédé <sup>[1][2]</sup>.

## Ce que recouvre l'activation enzymatique d'une pâte dissolvante

Une pâte dissolvante destinée au Lyocell n'est pas seulement une source de cellulose purifiée. Sa performance dépend aussi de la manière dont les chaînes cellulosiques, la surface des fibres, les microfibrilles et les composants résiduels de la paroi végétale réagissent lors du mouillage, du gonflement, de la dissolution et de la filtration. L'activation enzymatique vise à ajuster cette structure avant transformation, sans convertir la cellulose en un autre polymère ni remplacer les opérations aval du procédé Lyocell <sup>[2]</sup>.

Dans cette application, le terme « enzyme d'activation » désigne généralement une préparation à base d'enzymes cellulolytiques ou hémicellulolytiques capables d'agir sur les zones accessibles de la fibre. Les cellulases, et en particulier les endoglucanases, sont connues pour couper de manière localisée certaines liaisons dans les régions accessibles de la cellulose, tandis que des enzymes agissant sur les hémicelluloses peuvent modifier des barrières physiques ou chimiques autour des microfibrilles <sup>[3][4]</sup>.

L'objectif industriel est donc un réglage fin : rendre la pâte plus facile à traiter, plus homogène et plus compatible avec une dissolution contrôlée. Cet objectif est différent d'une hydrolyse poussée, qui chercherait à convertir la cellulose en sucres ; ici, l'enjeu est de conserver la valeur fibreuse tout en améliorant l'accessibilité et la réponse de la pâte aux étapes suivantes <sup>[5]</sup>.

## Pourquoi activer une pâte dissolvante avant un procédé Lyocell ?

Le procédé Lyocell impose une forte exigence de régularité. Une pâte trop peu accessible peut se disperser lentement, donner une dissolution incomplète, augmenter la charge de filtration ou conduire à une solution cellulosique moins homogène. À l'inverse, une pâte trop dépolymérisée peut perdre une partie des propriétés attendues pour la filature, car la viscosité et la longueur moyenne des chaînes cellulosiques restent des paramètres structurants pour la transformation en fibre.

Les études sur pâtes dissolvantes montrent que l'activation enzymatique peut influencer deux indicateurs centraux : la viscosité et la réactivité. Les travaux sur la dépolymérisation enzymatique de la cellulose et des hémicelluloses dans des pâtes dissolvantes kraft préhydrolysées ont précisément examiné l'effet de ces modifications sur la dissolution directe, ce qui rend ces données pertinentes pour les procédés de fibres cellulosiques régénérées <sup>[2]</sup>.

Pour le Lyocell, la prudence reste nécessaire : les résultats obtenus sur une pâte, un type de bois, une ligne de préparation ou un procédé de dissolution ne se transposent pas mécaniquement à tous les cas. La base scientifique soutient l'idée qu'une activation enzymatique peut améliorer l'aptitude de la pâte à être transformée, mais le résultat dépend de la structure initiale de la pâte, du degré d'activation visé et de la fenêtre de procédé appliquée <sup>[1][2]</sup>.

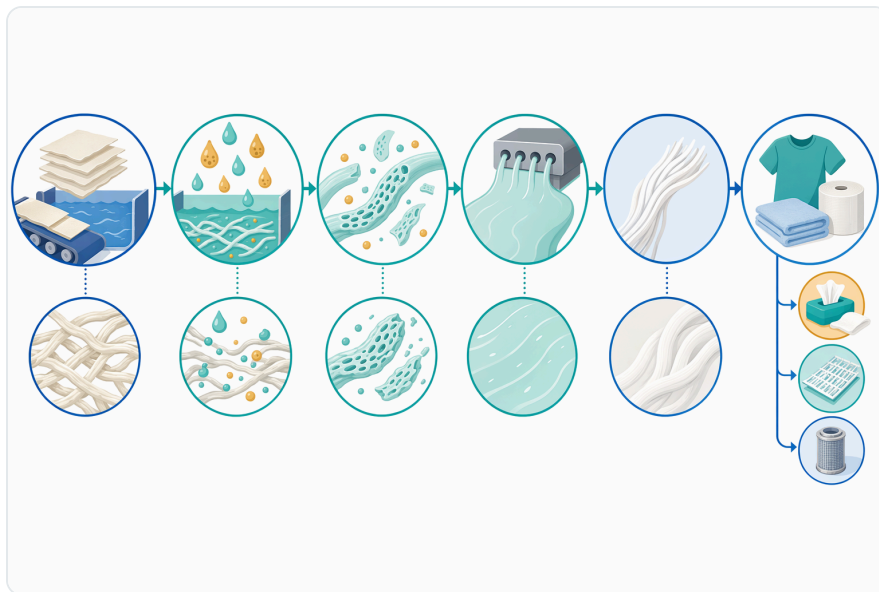


Figure 1. 활성화 효소는 NMMO 용해, 압출 및 셀룰로오스 재생 전에 수행되는 수계 펄프 전처리 단계에서 적용된다.

## Mécanisme : comment l'enzyme modifie la pâte sans la « détruire »

---

### Action des cellulases sur les zones accessibles

Les cellulases regroupent plusieurs activités enzymatiques, dont des endoglucanases qui attaquent préférentiellement des régions accessibles de la cellulose. Dans une pâte dissolvante, ces régions ne sont pas uniformément réparties : la surface des fibres, les défauts structuraux, les zones amorphes et certaines interfaces entre microfibrilles sont plus accessibles que les domaines cristallins compacts. Une action limitée peut donc ouvrir la structure ou réduire localement la longueur effective de certaines chaînes sans provoquer une hydrolyse massive de toute la fibre [3].

Cette distinction est essentielle. Une enzyme d'activation n'est pas utilisée pour saccharifier la pâte comme dans une production de glucose ou de bioéthanol ; elle sert à ajuster la réponse physique et chimique de la cellulose. Les revues sur les cellulases soulignent leur large utilisation industrielle, mais aussi la diversité de leurs modes d'action selon le substrat, l'accessibilité, la formulation enzymatique et les conditions du milieu [3][5].

### Rôle possible des hémicellulases et xylanases

Les pâtes dissolvantes contiennent moins d'hémicelluloses que des pâtes papetières ordinaires, mais des fractions résiduelles peuvent encore influencer le gonflement, l'accessibilité et la dissolution. Les xylanases et autres hémicellulases peuvent modifier ces composants, ce qui peut faciliter l'accès aux microfibrilles cellulosiques ou changer la manière dont la pâte interagit avec l'eau et les solvants du procédé [4][6].

Le point important est la synergie. Les travaux sur le synergisme cellulase-xylanase en biotechnologie industrielle montrent que l'action combinée sur cellulose et hémicelluloses peut produire des effets différents de ceux d'une enzyme isolée, car les polymères de la paroi végétale forment une matrice structurée plutôt qu'un ensemble de composants indépendants [4].

### LPMO et activation oxydative contrôlée

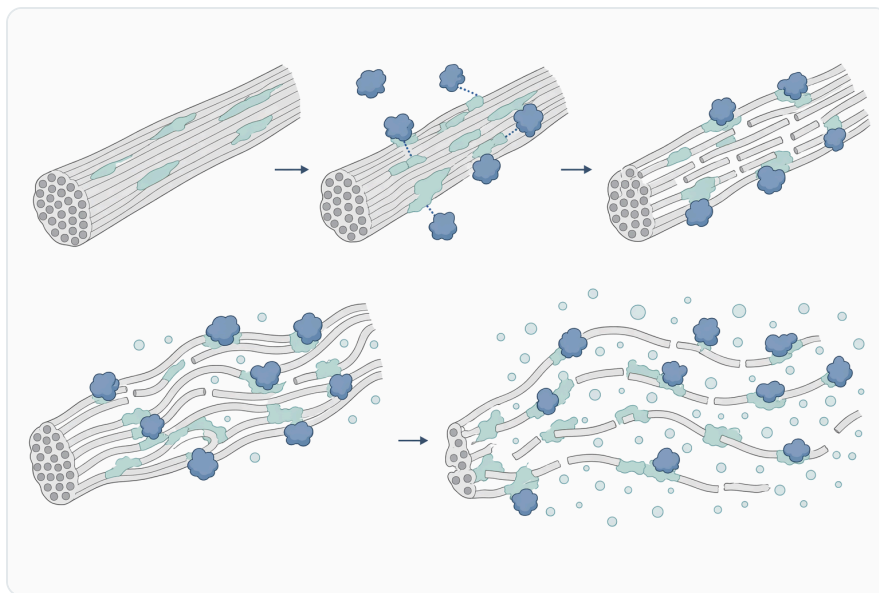
Certaines études sur l'activation de pâte kraft de résineux à haute teneur en solides ont examiné l'utilisation d'endoglucanase avec une lytic polysaccharide monooxygenase, ou LPMO. Les LPMO sont des enzymes oxydatives capables de contribuer à l'ouverture de polysaccharides récalcitrants, ce qui peut compléter l'action hydrolytique d'une endoglucanase sur des substrats cellulosiques difficiles d'accès [1].

Dans le contexte d'une enzyme commerciale d'activation de pâte dissolvante, cela ne signifie pas que chaque produit contient une LPMO. Cela montre plutôt que la recherche moderne sur l'activation de la cellulose ne se limite plus à une coupure hydrolytique simple : elle prend en compte l'accessibilité, la structure de la fibre, les interactions enzyme-substrat et l'effet combiné de plusieurs activités enzymatiques [1].

## Effets techniques recherchés dans la pâte dissolvante

### Ajustement de la viscosité

La viscosité de la cellulose est l'un des paramètres les plus surveillés dans les procédés de fibres régénérées. Une pâte insuffisamment ajustée peut donner une solution trop difficile à préparer ou à filtrer ; une pâte trop dégradée peut affecter les performances de filage et les propriétés mécaniques du produit final. L'activation enzymatique offre une voie de dépolymérisation partielle, plus ciblée que certains traitements chimiques sévères, à condition d'être maîtrisée [2].



**Figure 2.** 셀룰라아제형 활성화는 접근 가능한 셀룰로오스 영역에 흡착해 제한적인 내부 절단을 일으키고, 섬유벽 영역을 열어 수화와 용매 침투가 더 균일하게 이루어지도록 한다.

Les études sur l'activation enzymatique des pâtes dissolvantes montrent que la diminution de viscosité n'est pas un objectif isolé. Elle doit être interprétée avec la réactivité, le rendement, la dissolution et les propriétés aval. Un bon traitement n'est donc pas celui qui réduit le plus la viscosité, mais celui qui place la pâte dans une zone de comportement adaptée au procédé visé [2].

## Amélioration de l'accessibilité et de la réactivité

Une pâte dissolvante peut avoir une teneur élevée en cellulose tout en restant peu réactive si sa structure limite l'accès aux chaînes cellulosiques. L'activation enzymatique agit surtout sur les parties accessibles de la fibre, ce qui peut augmenter la surface réellement disponible pour le gonflement, la pénétration du solvant ou les réactions de dérivatisation dans d'autres procédés de fibres régénérées [7][2].

Des travaux sur l'adsorption de cellulase ont montré que la fixation de l'enzyme sur la pâte est un facteur important de l'efficacité d'activation. L'étude portant sur l'utilisation de polyacrylamide cationique pour renforcer l'adsorption de cellulase illustre ce point : l'enzyme doit atteindre et rester suffisamment en contact avec les zones pertinentes de la fibre pour produire un effet mesurable [7].

## Régularité de dissolution et comportement en filtration

La dissolution d'une pâte cellulosique n'est pas seulement une question de chimie globale ; elle dépend aussi de l'homogénéité de la matière entrante. Des fibres insuffisamment activées peuvent générer des particules mal dissoutes ou des fractions plus lentes à se disperser, ce qui peut se traduire par une filtration plus exigeante ou une solution moins constante. Les travaux sur la dissolution directe de pâtes dissolvantes préhydrolysées relient précisément les modifications enzymatiques de cellulose et d'hémicelluloses à l'aptitude à la dissolution [2].

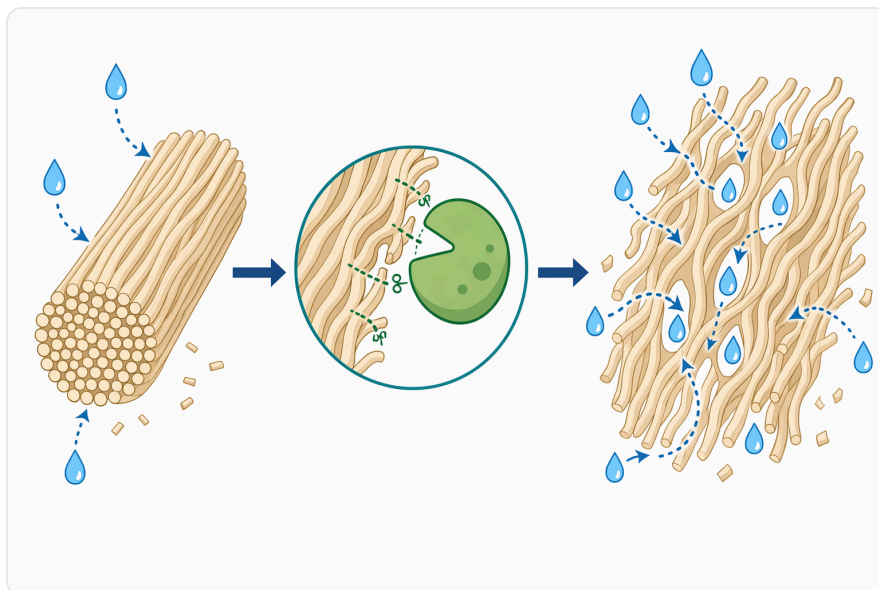
Dans un procédé Lyocell, ce lien est particulièrement important, car la qualité de la solution cellulosique conditionne les étapes ultérieures de filtration, extrusion, coagulation, lavage et étirage. Les données scientifiques disponibles ne permettent pas de promettre une amélioration universelle sur toutes les lignes, mais elles justifient techniquement l'usage d'une activation enzymatique comme levier de régularisation de la pâte [1][2].

## Comparaison des familles enzymatiques pertinentes

Famille enzymatique	Cible principale dans la pâte	Effet technique attendu	Niveau de pertinence pour l'activation de pâte dissolvante
Endoglucanases / cellulases	Régions accessibles de la cellulose	Dépolymérisation partielle, ouverture de structure, ajustement de viscosité	Très élevé : famille la plus directement liée aux études sur activation de pâtes dissolvantes [3][1]
Xylanases / hémicellulases	Hémicelluloses résiduelles, notamment	Modification de la matrice autour des microfibrilles,	Pertinent selon la composition de la pâte et la teneur résiduelle en

Famille enzymatique	Cible principale dans la pâte	Effet technique attendu	Niveau de pertinence pour l'activation de pâte dissolvante
	xylanes	amélioration potentielle de l'accessibilité	hémicelluloses [4][6]
LPMO	Polysaccharides cellulosiques récalcitrants	Contribution oxydative à l'ouverture de structures difficiles d'accès	Pertinent dans certaines approches de recherche et combinaisons enzymatiques [1]
Ligninases	Composants lignifiés résiduels dans des biomasses ou pâtes moins purifiées	Biodelignification ou modification de fractions lignifiées	Moins central pour une pâte dissolvante déjà hautement purifiée, mais important dans le contexte plus large de la pulpe [8]
Enzymes de procédé papetier	Substrats variés selon l'application	Drainage, raffinage, désencrage, modification de surface	Pertinence indirecte : confirme l'usage industriel des enzymes en pâte et papier [9][10]

Ce tableau doit être lu comme une cartographie technique, non comme une description exhaustive de la composition du produit. Une Lyocell Dissolving Pulp Activation Enzyme doit être comprise par son usage fonctionnel — activation de pâte dissolvante — plutôt que comme une promesse d'activités enzymatiques multiples dans tous les contextes.



**Figure 3.** 접근성이 펄프의 제한 요인일 때, 제어된 활성화는 습윤, 팽윤, 용해 준비성 및 잔류물 감소를 개선한다.

## Données scientifiques les plus directement pertinentes

---

### Activation à haute teneur en solides par endoglucanase et LPMO

L'étude sur l'activation de pâte kraft de résineux à haute teneur en solides par endoglucanase et LPMO est importante parce qu'elle rapproche la recherche de conditions industrielles plus réalistes que les traitements très dilués. Les pâtes ne sont pas toujours traitées dans des suspensions faciles à mélanger ; l'accessibilité, la diffusion de l'enzyme et l'homogénéité de contact deviennent alors des facteurs majeurs <sup>[1]</sup>.

Cette étude soutient l'idée que l'activation enzymatique n'est pas seulement une réaction chimique en solution, mais une opération de procédé appliquée à un matériau fibreux concentré. Pour une pâte destinée au Lyocell, cette nuance compte : la performance dépend autant du contact enzyme-fibre que de l'activité intrinsèque de l'enzyme <sup>[1]</sup>.

### Dépolymérisation enzymatique de cellulose et d'hémicelluloses

Les travaux sur l'effet de la dépolymérisation enzymatique de la cellulose et des hémicelluloses sur la dissolution directe d'une pâte kraft dissolvante préhydrolysée apportent une base mécanistique forte. Ils montrent que la modification enzymatique de plusieurs fractions de la paroi peut influencer l'aptitude de la pâte à se dissoudre, ce qui est directement lié aux objectifs d'une activation avant fibres régénérées <sup>[2]</sup>.

Cette approche est particulièrement utile parce qu'elle ne réduit pas l'activation à une simple baisse de viscosité. Elle relie la structure chimique et physique de la pâte à un comportement de dissolution, c'est-à-dire à un résultat de procédé plus proche des préoccupations industrielles <sup>[2]</sup>.

### Adsorption de cellulase et efficacité d'activation

L'activation enzymatique dépend de l'adsorption de l'enzyme sur la fibre. L'étude sur l'activation de pâte dissolvante avec polyacrylamide cationique montre que renforcer l'adsorption de cellulase peut améliorer l'efficacité du traitement, ce qui confirme l'importance des interactions de surface entre enzyme, fibre et milieu de réaction <sup>[7]</sup>.

Pour un utilisateur de pâte dissolvante, cette donnée signifie que l'enzyme ne doit pas être considérée comme un additif qui agit uniformément dès son introduction. Son efficacité dépend du mouillage, du mélange, de la disponibilité des sites accessibles et des interactions avec les autres composants présents dans la suspension <sup>[7]</sup>.

## Recyclabilité de la cellulase et rôle des additifs de procédé

L'étude sur Tween 80 et la recyclabilité de la cellulase pendant l'activation de pâte dissolvante montre que la stabilité, la récupération ou la réutilisation de l'activité enzymatique peuvent être des sujets de recherche importants. Elle indique aussi que des composants du milieu peuvent modifier l'efficacité globale du système enzymatique [11].

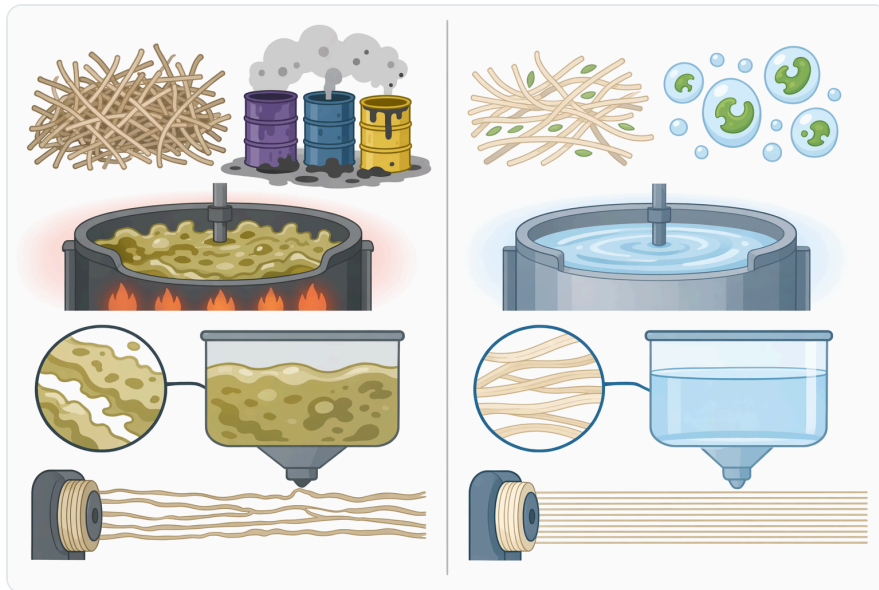


Figure 4. 효소적 활성화는 수계 조건에서 접근 가능한 셀룰로오스 영역을 선택적으로 변형한다는 점에서 기계적, 화학적 및 무활성화 방식과 다르다.

Cette information ne doit pas être interprétée comme une recommandation automatique d'ajout de tensioactif dans chaque procédé. Elle montre plutôt que les performances d'activation dépendent du système complet : enzyme, pâte, milieu aqueux, interactions de surface et conditions de procédé [11].

## Place de l'activation enzymatique dans les procédés Lyocell et viscose

La viscose et le Lyocell ne sont pas identiques. La viscose repose sur une dérivatisation chimique de la cellulose, tandis que le Lyocell s'appuie sur une dissolution directe dans un système solvant approprié. Pourtant, les deux procédés partagent un besoin fondamental : une pâte dissolvante régulière, réactive et correctement ajustée en viscosité.

Les études relatives à la dissolution directe de pâtes dissolvantes sont donc plus proches du raisonnement Lyocell que les données uniquement papetières. Elles permettent d'examiner comment une modification enzymatique de la cellulose et des hémicelluloses se traduit en aptitude à la dissolution, au lieu de ne mesurer qu'un effet sur drainage ou raffinage [2].

Les données issues du secteur pâte et papier restent néanmoins utiles. Les enzymes y sont utilisées depuis longtemps pour résoudre des problèmes de transformation de fibres, notamment dans le recyclage, le désencrage, l'amélioration de drainage ou la modification de propriétés de surface. Cette expérience industrielle confirme que les enzymes peuvent être intégrées comme outils de procédé, à condition que la fenêtre d'application soit compatible avec le substrat et l'objectif <sup>[9][10]</sup>.

## Variables de procédé qui influencent l'efficacité

L'efficacité d'une enzyme d'activation dépend de plusieurs facteurs : type de pâte, essence de bois, procédé de cuisson, préhydrolyse, degré de purification, structure fibreuse, teneur en hémicelluloses résiduelles, accessibilité de la cellulose et état de dispersion. Deux pâtes ayant une composition globale proche peuvent réagir différemment si leur structure interne ou leur historique de traitement diffère <sup>[2]</sup>.

Le temps de contact, la température, le pH, le mélange et la consistance influencent aussi la réaction, mais leur rôle doit être interprété comme une fenêtre de fonctionnement plutôt que comme une recette universelle. Les enzymes industrielles sont des biocatalyseurs : elles peuvent être très sélectives, mais seulement si les conditions du milieu permettent à l'enzyme de rester active et de rencontrer son substrat <sup>[12][10]</sup>.

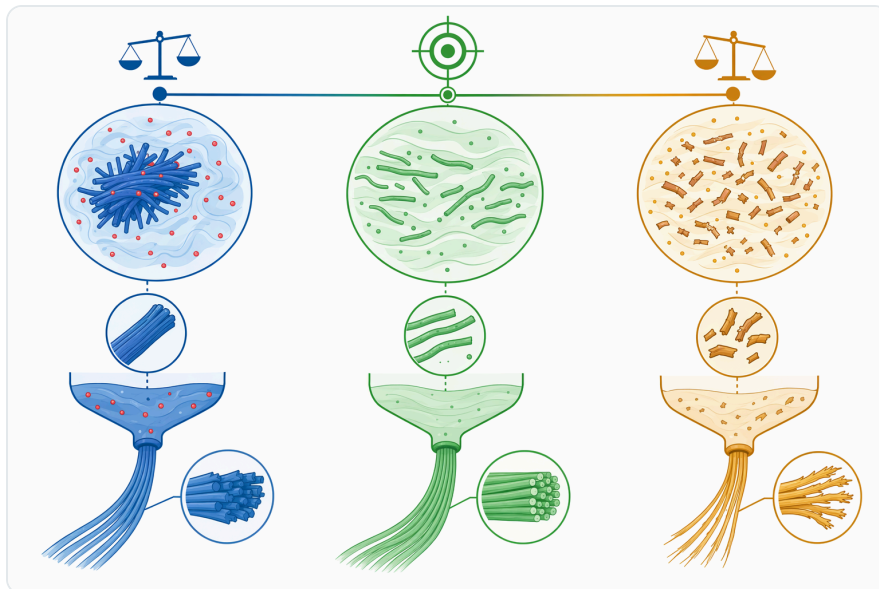


Figure 5. 유효한 활성화 범위는 셀룰로오스 사슬을 과도하게 짧게 만들지 않으면서 접근성 향상과 점도 반응의 균형을 맞춘다.

La teneur en solides mérite une attention particulière. Les travaux sur l'activation de pâte kraft à haute teneur en solides montrent que l'activation peut être étudiée dans des conditions où la diffusion et l'homogénéité sont plus difficiles qu'en suspension diluée. Cela rappelle que l'efficacité industrielle ne

dépend pas uniquement de la chimie de l'enzyme, mais aussi du transfert de matière et du contact mécanique avec la fibre <sup>[1]</sup>.

## Avantages attendus, formulés avec prudence technique

---

Le premier avantage attendu est une meilleure maîtrise de la viscosité. Une cellulase ou une endoglucanase bien utilisée peut contribuer à réduire une viscosité trop élevée ou trop variable, mais le traitement doit rester contrôlé pour éviter une dépolymérisation excessive. Les travaux sur la dépolymérisation enzymatique confirment que l'effet sur la cellulose doit être relié à la dissolution et non recherché isolément <sup>[2]</sup>.

Le deuxième avantage est l'amélioration de l'accessibilité de la pâte. En agissant sur les zones accessibles de la cellulose et, selon les systèmes, sur certaines hémicelluloses, l'enzyme peut rendre la matière plus apte au gonflement et à la dissolution. Les recherches sur le synergisme cellulase-xylanase et sur l'activation de pâtes dissolvantes soutiennent ce mécanisme <sup>[4][2]</sup>.

Le troisième avantage est la régularité de transformation. Une pâte plus homogène dans sa réponse au traitement peut réduire les écarts de comportement entre lots ou à l'intérieur d'un lot, ce qui est important pour des procédés continus comme la préparation de solution cellulosique et la filature. Les sources générales sur les enzymes industrielles soulignent justement leur intérêt comme outils ciblés de biocatalyse dans des procédés où la sélectivité et la maîtrise des conditions sont essentielles <sup>[12][10]</sup>.

Le quatrième avantage est l'intégration dans une logique de procédé plus sobre. Les enzymes peuvent remplacer ou compléter certaines actions chimiques ou mécaniques plus intensives, même si le gain réel dépend de l'installation et du bilan global. Dans le secteur pâte et papier, l'utilisation d'enzymes pour traiter les fibres est documentée comme une voie d'optimisation de procédés existants, notamment dans le traitement des fibres recyclées et la modification de propriétés fibreuses <sup>[9]</sup>.

## Limites à comprendre avant l'utilisation industrielle

---

Une enzyme d'activation de pâte dissolvante n'est pas un correcteur universel. Si la pâte présente une composition inadaptée, une contamination, une variabilité excessive ou une structure trop dégradée, l'enzyme peut ne pas compenser ces défauts. Elle agit sur des liaisons et des zones accessibles ; elle ne reconstruit pas une cellulose endommagée et ne garantit pas une dissolution parfaite dans tous les systèmes.

L'activation enzymatique peut aussi produire des effets contradictoires si elle est mal contrôlée. Une augmentation d'accessibilité peut être favorable à la dissolution, mais une dépolymérisation excessive peut réduire la viscosité au-delà de la zone utile. Les études sur pâtes dissolvantes montrent donc l'importance d'évaluer simultanément plusieurs réponses : viscosité, dissolution, réactivité, rendement et comportement aval [2].



Figure 6. 활성화된 용해 펄프는 라이오셀 단섬유, 필라멘트, 극세 데니어 섬유, 특수 셀룰로오스 및 기타 고균일성 재생 셀룰로오스 응용 분야에 활용될 수 있다.

Enfin, les données scientifiques disponibles sont plus fortes pour l'activation de pâtes dissolvantes en général que pour une garantie spécifique à chaque ligne Lyocell. Les études sur endoglucanase, LPMO, adsorption de cellulase ou dissolution directe fournissent une base mécanistique solide, mais l'application exacte dépend du procédé réel [1][7][2].

## Positionnement du produit Enzymes.bio

**Lyocell Dissolving Pulp Activation Enzyme** est proposé par Enzymes.bio comme une enzyme de procédé destinée à l'activation de pâte dissolvante avant transformation en fibres cellulosiques régénérées. Enzymes.bio est un fournisseur en ligne, non un fabricant et non un laboratoire ; le produit est vendu directement par unité de 1 kg, avec CoA et SDS fournis avec la commande .

Ce positionnement est important pour l'utilisateur B2B : le produit doit être compris comme un levier technique d'activation de pâte, pas comme une formulation universelle garantissant une performance identique dans toutes les installations. Les données scientifiques soutiennent l'usage d'enzymes

cellulolytiques pour modifier l'accessibilité et la viscosité de pâtes dissolvantes, mais la réponse finale reste liée à la pâte, au procédé de dissolution et aux paramètres de transformation <sup>[1][2]</sup>.

## Conclusion technique

Une **Lyocell Dissolving Pulp Activation Enzyme** sert à préparer la pâte dissolvante en modifiant de manière contrôlée l'accessibilité, la viscosité et la réactivité de la cellulose avant dissolution. Les preuves les plus pertinentes concernent les cellulases, endoglucanases, combinaisons avec LPMO et systèmes agissant aussi sur les hémicelluloses ; elles montrent que l'activation enzymatique peut influencer directement l'aptitude de la pâte à se dissoudre et à se comporter de façon plus régulière <sup>[1][2]</sup>.

Pour une application Lyocell, la formulation la plus fiable est donc la suivante : l'activation enzymatique est un outil techniquement fondé pour ajuster les pâtes dissolvantes, mais son bénéfice exact dépend de la matière première et du procédé industriel. Utilisée dans une fenêtre maîtrisée, elle peut contribuer à une meilleure régularité de traitement, à un ajustement plus fin de la viscosité et à une meilleure accessibilité de la cellulose, tout en s'inscrivant dans l'usage plus large des enzymes comme biocatalyseurs industriels ciblés <sup>[12][10]</sup>.

### Commander Lyocell Dissolving Pulp Activation Enzyme 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 Lyocell Dissolving Pulp Activation Enzyme →](#)

## 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. Ceccherini, S., Rahikainen, J., Marjamaa, K., Sawada, D., Grönqvist, S., & Maloney, T. (2021). Activation of softwood Kraft pulp at high solids content by endoglucanase and lytic polysaccharide monoxygenase. *Industrial crops and products (Print)*.
2. Ceccherini, S., Ståhl, M., Sawada, D., Hummel, M., & Maloney, T. (2021). Effect of Enzymatic Depolymerization of Cellulose and Hemicelluloses on the Direct Dissolution of Prehydrolysis Kraft Dissolving Pulp. *Biomacromolecules*, 22, 4805 - 4813.

3. Ejaz, U., Sohail, M., & Ghanemi, A. (2021). Cellulases: From Bioactivity to a Variety of Industrial Applications. *Biomimetics*, 6.
4. Bajaj, P., & Mahajan, R. (2019). Cellulase and xylanase synergism in industrial biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 8711 - 8724.
5. Dadwal, A., Sharma, S., & Satyanarayana, T. (2021). Thermostable cellulose saccharifying microbial enzymes: Characteristics, recent advances and biotechnological applications.. *International Journal of Biological Macromolecules*.
6. Abena, T., & Simachew, A. (2024). A review on xylanase sources, classification, mode of action, fermentation processes, and applications as a promising biocatalyst. *BioTechnologia*, 105, 273 - 285.
7. Wang, Q., Yuan, T., Liu, S., Yang, G., Li, W., & Yang, R. (2017). Enzymatic activation of dissolving pulp with cationic polyacrylamide to enhance cellulase adsorption.
8. Ishak, N., Kassim, A. S. M., Aripin, A. M., Zaidel, D. N. A., & Zainulabidin, M. H. (2015). Identification and Expression of Ligninase Enzymes from Tropical Asia Wood Insect for Agro-Pulp Biodelignification: A Theoretical Framework. *Applied Mechanics and Materials*, 773-774, 1380 - 1383.
9. Bajpai, P. (2010). Solving the problems of recycled fiber processing with enzymes. *BioResources*.
10. Mukherjee, P., Mondal, I., Dey, D., Dan, E., Khatun, F., & Tewari, S. (2023). An Overview on Microbial Enzymes and their Industrial Applications. *Journal of Survey in Fisheries Sciences*.
11. Liu, S., Liu, X., He, H., Xino-Fu, Ji, X., Wang, Q., Yang, G., ... et al. (2020). Tween 80 enhancing cellulase recyclability during activation of dissolving pulp. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 40, 155 - 162.
12. Singh, R., Kumar, M., Mittal, A., & Mehta, P. (2016). Microbial enzymes: industrial progress in 21st century. *3 Biotech*, 6.

## Contacteur 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.