

Xylanase Enzyme for Brewers : enzyme xylanase pour brasserie, performance du moût, filtration et maîtrise des arabinoxylanes

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

Xylanase Enzyme for Brewers est une enzyme de procédé destinée aux brasseurs qui cherchent à mieux contrôler les xylanes et arabinoxylanes des céréales, en particulier dans les moûts riches en blé, seigle, orge ou fractions céréalières hémicellulosiques. En hydrolysant le squelette β -1,4-xylanique, la xylanase peut réduire la contribution de ces polymères à la viscosité, à la turbidité et aux filtrations lentes, sans se substituer aux amylases, protéases ou β -glucanases ^[1]. Enzymes.bio fournit ce produit en ligne par unité de 1 kg ; le certificat d'analyse et la fiche de données de sécurité sont fournis avec la commande .

Rôle technique de la xylanase en brasserie

La xylanase est une hydrolase spécialisée dans la dégradation du xylane, un polysaccharide majeur de l'hémicellulose végétale. Dans les céréales brassicoles, le problème technologique ne vient pas uniquement de l'amidon : les parois cellulaires apportent aussi des arabinoxylanes, des β -glucanes, des protéines associées et des particules fines qui modifient l'écoulement du moût. Les xylanases ciblent surtout les liaisons internes du squelette xylanique, ce qui réduit la taille moyenne des chaînes et peut modifier leur solubilité, leur capacité à retenir l'eau et leur contribution à la viscosité ^[2].

Dans un brassage conventionnel, la transformation de l'amidon en sucres fermentescibles est souvent l'objectif le plus visible. Pourtant, la séparation du moût, la filtration, la clarification et la reproductibilité des lots dépendent aussi de la structure des polymères non amidonneux. Les publications sur les xylanases industrielles soulignent que ces enzymes sont utilisées précisément parce qu'elles agissent sur des substrats hémicellulosiques abondants dans les matières végétales, avec des applications dans l'alimentation, l'agro-industrie et la transformation des biomasses ^[1].

En brasserie, l'intérêt pratique d'une xylanase n'est donc pas de « produire plus de sucre » comme le ferait une enzyme amylolytique, mais d'agir sur une fraction pariétale qui peut rendre le moût plus visqueux et plus difficile à séparer. Cette distinction est importante pour les recettes contenant du blé,

du seigle ou des matières premières moins modifiées, où les arabinoxylanes peuvent être plus visibles technologiquement que dans un moût d'orge très bien modifié. Les travaux consacrés à la viscosité du moût et à l'activité xylanase montrent que la maîtrise des arabinoxylanes est directement liée à la fluidité et au comportement de filtration ^[3].

Ce que la xylanase coupe réellement : xylane, arabinoxylane et hémicellulose

Le xylane est constitué d'un squelette principal de résidus de xylose reliés par des liaisons β -1,4. Dans les céréales, ce squelette est fréquemment substitué par des groupes arabinose : on parle alors d'arabinoxylanes. Ces ramifications, ainsi que d'autres substitutions présentes dans les parois végétales, influencent la solubilité, l'accessibilité enzymatique et les interactions avec les protéines ou les composés phénoliques ^[2].

Une endo-xylanase agit principalement à l'intérieur de la chaîne xylanique, plutôt qu'en retirant uniquement des unités terminales. Cette action interne fragmente les longues chaînes en oligomères et fragments plus courts. Plus le polymère initial est long et hydraté, plus sa contribution à la viscosité peut être importante ; la coupure de la chaîne réduit alors l'effet d'épaississement, même si le résultat dépend de la structure précise des arabinoxylanes et de leur degré de solubilisation pendant l'empâtage ^[1].

Les arabinoxylanes ne doivent pas être considérés uniquement comme des contaminants à éliminer. Certaines fractions de masse moléculaire modérée peuvent contribuer à la perception en bouche, à la texture ou à la stabilité de mousse selon le style de bière et la matrice céréalière. L'objectif d'une xylanase pour brasseurs est donc le contrôle : diminuer l'impact des chaînes longues qui pénalisent l'écoulement, sans supposer qu'une hydrolyse maximale serait toujours souhaitable ^[4].

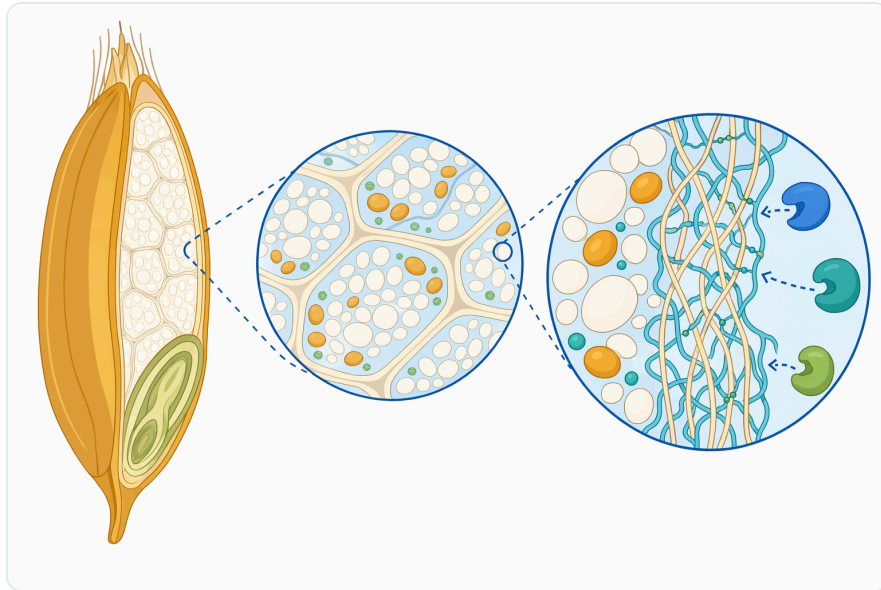


Figure 1. 자일라나아제는 전분을 발효성 당으로 직접 전환하는 것이 아니라, 곡물 세포벽의 자일란과 아라비노자일란에 작용합니다.

Pourquoi les arabinoxyanes posent problème dans le moût

Les arabinoxyanes hydrosolubles de masse moléculaire élevée sont particulièrement surveillés car ils augmentent la résistance à l'écoulement. Dans un moût, cela peut se manifester par une circulation plus lente, une séparation solide-liquide moins efficace, un colmatage plus fréquent du lit de drêches et une filtration finale plus longue. Les données disponibles sur les moûts céréaliers relient ces polymères à la viscosité, à la turbidité et à une vitesse de filtration réduite ^[4].

La difficulté vient aussi du fait que les arabinoxyanes existent sous formes insolubles et solubles. Pendant l'empâtage, une partie de la matrice pariétale peut se solubiliser ; si cette solubilisation libère des chaînes longues sans les hydrolyser suffisamment, le moût peut devenir plus visqueux. À l'inverse, une xylanase active dans la fenêtre appropriée peut fragmenter ces chaînes et limiter leur effet rhéologique ^[3].

La turbidité peut également être influencée par ces polymères. Les arabinoxyanes interagissent avec d'autres constituants du moût, notamment les protéines, les polyphénols, les fragments de paroi et les particules colloïdales. Une xylanase ne remplace donc pas une stratégie complète de clarification, mais elle cible l'une des causes polysaccharidiques possibles d'une bière plus trouble ou d'un moût plus difficile à clarifier ^[4].

Applications brassicoles les plus pertinentes

Moûts riches en blé, seigle ou céréales hémicellulosiques

Les recettes à base de blé sont un cas d'usage logique, car le blé est riche en arabinoxylanes et ces polymères sont bien étudiés dans les problématiques de viscosité du moût. Dans les bières de blé, les ales contenant une fraction importante de céréales non maltées ou les formulations avec adjunts céréaliers, la xylanase peut aider à gérer la partie hémicellulosique de la matrice, en particulier lorsque le ralentissement de filtration est récurrent ^[4].

Le seigle est également connu des brasseurs pour produire des moûts plus lourds et plus difficiles à filtrer, même si l'effet exact dépend de la recette, du broyage, du ratio eau/grain et de l'équipement. Dans ce type de matrice, la xylanase peut être considérée comme un auxiliaire de procédé ciblant les xylanes et arabinoxylanes, tandis que d'autres enzymes peuvent être nécessaires si les β -glucanes ou les protéines sont les principaux facteurs limitants ^[2].

Amélioration de la séparation du moût

La séparation du moût dépend de la perméabilité du lit de drêches, de la taille des particules, de la qualité du malt, de la température, du pH, de la viscosité et de la conduite du rinçage. Lorsque les arabinoxylanes contribuent fortement à l'épaississement, la xylanase peut réduire une partie de la résistance hydraulique en diminuant la longueur des chaînes hémicellulosiques. Les travaux portant sur l'activité xylanasique et la viscosité du moût soutiennent ce lien entre hydrolyse des arabinoxylanes et performance d'écoulement ^[3].

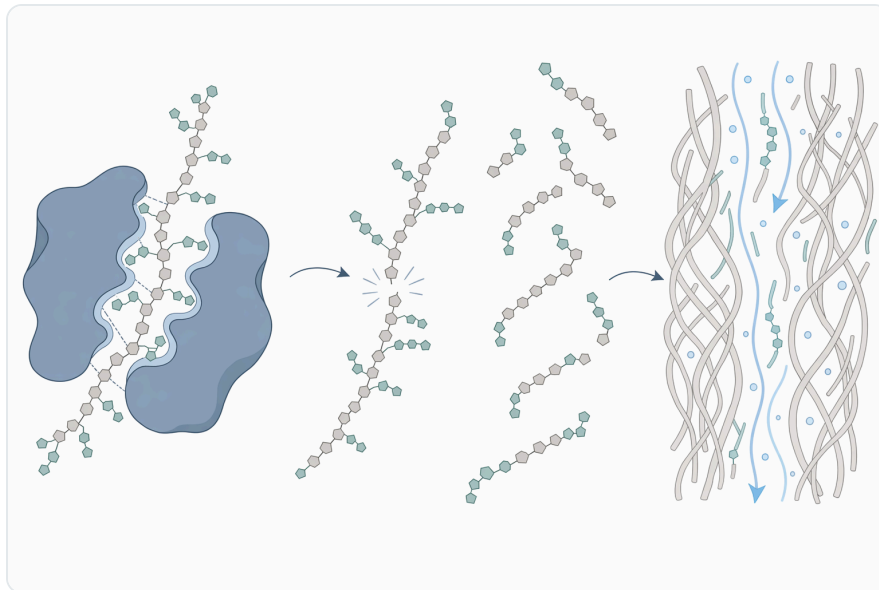


Figure 2. 엔도-자일라나아제는 자일란 골격 내부의 β -1,4 결합을 가수분해하여 아라비노자일란 중합체를 더 작은 조각으로 짧게 만듭니다.

Cette application est particulièrement pertinente dans les brasseries qui rencontrent des variations de filtration entre lots de malt ou entre origines céréalières. La xylanase ne corrige pas un concassage trop fin, une cuve-filtre sous-dimensionnée ou une conduite de rinçage inadaptée, mais elle peut réduire une composante biochimique du problème lorsque les hémicelluloses sont impliquées [4].

Gestion de la turbidité liée aux polysaccharides

La turbidité de la bière est multifactorielle : levures en suspension, protéines, polyphénols, amidon résiduel, oxalate, glucanes, arabinoxylanes et particules fines peuvent intervenir. La xylanase est pertinente uniquement pour la fraction xylanique ou arabinoxylanique. En fragmentant ces polymères, elle peut contribuer à rendre certains colloïdes moins structurants ou moins visqueux, mais elle ne garantit pas à elle seule une bière limpide [4].

Pour les styles où un trouble naturel est recherché, comme certaines bières de blé ou bières non filtrées, l'intérêt de la xylanase peut être davantage orienté vers la filtration du moût ou la régularité de l'empâtage que vers la limpidité finale. L'enzyme doit donc être comprise comme un outil de pilotage de texture et de procédé, non comme un agent universel de clarification [2].

Valorisation des matières céréalières et régularité de procédé

La brasserie génère et utilise des flux riches en parois végétales, notamment les drêches et les fractions céréalières. Les revues sur la valorisation des drêches de brasserie rappellent que ces coproduits contiennent une matrice lignocellulosique et hémicellulosique intéressante pour des

transformations biologiques ou enzymatiques ^[5]. Même si l'usage principal de Xylanase Enzyme for Brewers concerne le moût, cette littérature confirme l'importance des xylanes et arabinoxylanes dans l'écosystème matière de la brasserie.

Dans un atelier de production, la régularité est souvent aussi importante que le rendement absolu. Une xylanase peut contribuer à lisser les variations dues à la modification du malt, à la proportion d'adjuncts ou à l'origine céréalière, à condition que les paramètres d'empâtage laissent à l'enzyme le temps et les conditions nécessaires pour agir ^[6].

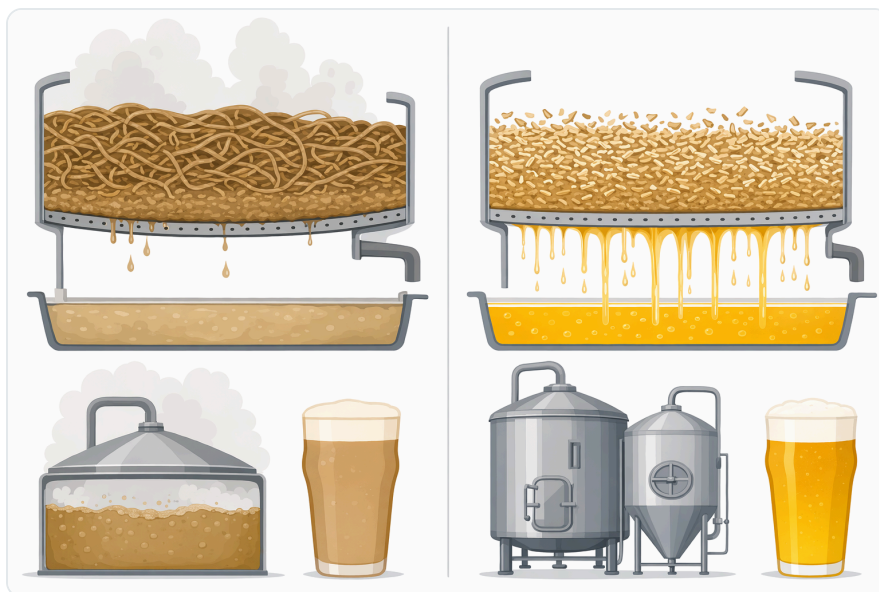


Figure 3. 자일라나아제, β -글루카나아제, 아밀라아제, 프로테아제는 각각 다른 양조 기질에 작용하므로 서로 다른 공정 문제를 해결합니다.

Comparaison avec d'autres enzymes de brassage

Enzyme	Substrat principal	Effet recherché en brasserie	Ce qu'elle ne remplace pas
Xylanase	Xylanes et arabinoxylanes	Réduction de la contribution hémicellulosique à la viscosité, meilleure filtrabilité potentielle, gestion des polysaccharides de paroi	Amylases, protéases, β -glucanases
Amylases	Amidon et dextrines	Production de sucres fermentescibles et ajustement du profil glucidique	Dégradation ciblée des arabinoxylanes
β-glucanases	β -glucanes	Réduction de la viscosité liée aux β -glucanes, surtout dans certains malts ou céréales	Hydrolyse spécifique du xylane

Enzyme	Substrat principal	Effet recherché en brasserie	Ce qu'elle ne remplace pas
Protéases	Protéines et peptides	Modification de la matrice protéique, influence sur FAN, turbidité ou mousse selon contexte	Hydrolyse des hémicelluloses
Feruloyl estérases	Liaisons ester liées à certains substituants phénoliques des parois	Transformation de fractions céréalières spécifiques, souvent en association avec d'autres activités	Action principale d'endo-xylanase sur le squelette β -1,4-xylanique

Cette comparaison montre pourquoi la xylanase doit être positionnée avec précision. Si la viscosité provient surtout des arabinoxylanes, elle est pertinente ; si le facteur limitant est l'amidon non converti, une charge excessive de particules fines ou une fraction β -glucanique dominante, l'effet d'une xylanase seule sera nécessairement limité. Les publications sur les enzymes alimentaires et industrielles insistent sur cette logique de spécificité substrat-enzyme ^[1].

Les feruloyl estérases méritent d'être mentionnées parce que les parois de céréales ne sont pas de simples chaînes linéaires. Certains arabinoxylanes peuvent être associés à des substituants phénoliques, ce qui influence la structure de la matrice et les transformations possibles des déchets ou coproduits céréaliers. Les travaux sur les biotransformations de déchets céréaliers par ferulic acid estérases illustrent cette complexité, mais cela ne doit pas être confondu avec l'action principale d'une xylanase brassicole ^[7].

Conditions de procédé : pH, température, temps de contact et accessibilité

L'efficacité d'une xylanase dépend du pH, de la température, de la disponibilité du substrat et du temps de contact. Les xylanases décrites dans la littérature peuvent présenter des profils très différents selon leur origine microbienne, leur famille enzymatique et leur stabilité. Une xylanase issue de *Streptomyces megasporus* DSM 41476 a par exemple été étudiée pour son adaptabilité à de larges conditions de pH et de température et pour son potentiel dans l'industrie brassicole ^[6].

En pratique, l'empâtage est souvent l'étape la plus logique pour l'action xylanasique, car les parois céréalières y sont hydratées, partiellement ouvertes et mises en contact avec l'enzyme. Une addition trop tardive, lorsque les arabinoxylanes ont déjà perturbé la séparation, peut être moins efficace qu'une action pendant la phase où les polymères sont en cours de solubilisation. Les données sur la viscosité du moût confirment l'importance de l'activité xylanasique dans la fenêtre de transformation du moût ^[3].

La température doit être compatible avec l'activité et la stabilité de l'enzyme utilisée. Certaines xylanases sont étudiées pour leur robustesse thermique, tandis que d'autres perdent rapidement leur activité lorsque la température augmente. Les travaux structuraux sur des xylanases de famille glycoside hydrolase 10 montrent que la stabilité et l'adaptation thermique dépendent fortement de l'architecture moléculaire de l'enzyme [8].

Le pH du moût joue également un rôle important. Une enzyme peut être très active dans une plage donnée et beaucoup moins en dehors de cette zone. Les recherches sur des xylanases adaptées à l'industrie brassicole mettent justement l'accent sur la compatibilité avec les conditions réelles de procédé, car une bonne activité sur substrat pur ne garantit pas une performance identique dans un moût complexe [6].

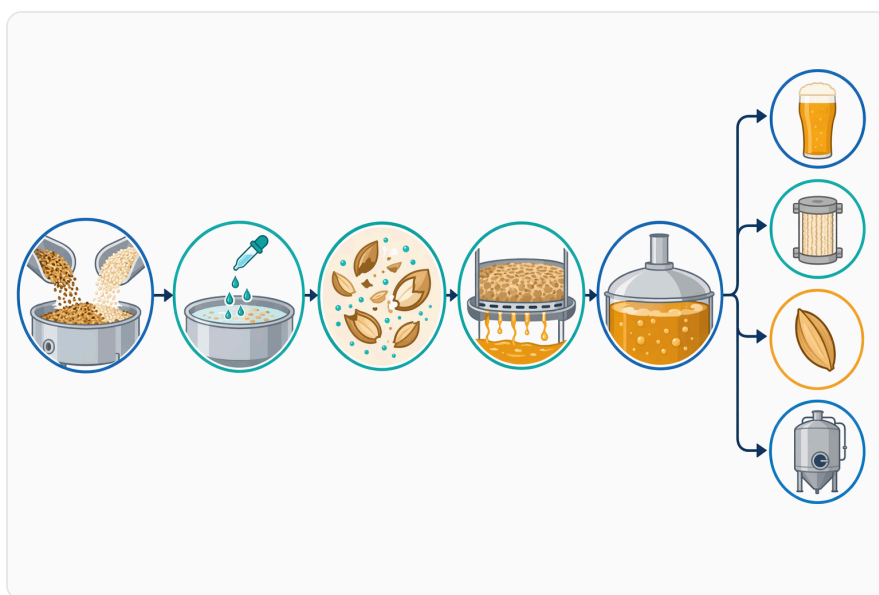


Figure 4. 자일라나아제는 보통 당화 과정에서 투입되어, 라우터 튜이나 매시 필터에서 맥즙을 분리하기 전에 헤미셀룰로스 가수분해가 일어나도록 합니다.

Le temps de contact ne doit pas être négligé. Une hydrolyse enzymatique n'est pas instantanée : elle exige que l'enzyme rencontre les chaînes accessibles et effectue suffisamment de coupures pour modifier la distribution de taille des polymères. Un empâtage très court ou des paliers mal positionnés peuvent réduire l'effet observable, même si l'enzyme est adaptée au substrat [2].

Effets attendus sur le moût et la bière

L'effet le plus directement attendu est une diminution de la viscosité liée aux longues chaînes d'arabinoxylanes. Cela peut se traduire par un moût plus facile à pomper, une séparation plus régulière et une filtration moins sensible aux variations de matière première. Les études reliant arabinoxylanes,

viscosité et filtrabilité du moût soutiennent cette application, en particulier pour les systèmes où le blé ou d'autres céréales riches en hémicelluloses sont significatifs ^[4].

Un deuxième effet possible est l'amélioration de la libération de composés solubles à partir de la matrice céréalière. En affaiblissant certaines structures pariétales, la xylanase peut faciliter l'accès de l'eau et d'autres enzymes aux composants du grain. Les revues sur les xylanases industrielles décrivent cette action comme une déconstruction partielle de l'hémicellulose, utile dans plusieurs procédés agroalimentaires et de biomasse ^[1].

Un troisième effet concerne la turbidité et la stabilité colloïdale. Lorsque des arabinoxylanes de masse moléculaire élevée participent à la formation de structures colloïdales ou augmentent la viscosité du milieu, leur hydrolyse peut réduire leur impact. Toutefois, la turbidité finale dépend aussi des protéines, polyphénols, levures, conditions de refroidissement, centrifugation, filtration et stabilisation ; la xylanase ne doit donc pas être présentée comme une solution unique à tous les troubles de bière ^[4].

Un quatrième effet, plus indirect, concerne la reproductibilité. Dans des recettes où les céréales changent de lot, d'origine ou de degré de modification, les polysaccharides de paroi peuvent varier. Une xylanase intégrée de manière cohérente peut aider à rendre le procédé moins sensible à cette variabilité, sans supprimer la nécessité d'un pilotage rigoureux du concassage, de l'empâtage et de la filtration ^[6].

Limites techniques à connaître

La xylanase n'est pas une enzyme universelle de correction du moût. Elle ne convertit pas l'amidon en maltose, ne remplace pas les enzymes amylolytiques du malt et ne corrige pas un profil de sucres fermentescibles inadéquat. Son champ d'action principal est la fraction xylanique de l'hémicellulose ; c'est cette spécificité qui fait son intérêt, mais aussi sa limite ^[2].



Figure 5. 자일라나아제는 보리 맥아의 변동성, 밀·호밀·트리티케일·옥수수 부원료, 또는 고농도 매시가 자일란이 풍부한 세포벽 부담을 늘릴 때 특히 중요합니다.

Elle ne remplace pas non plus une β -glucanase lorsque le problème vient majoritairement des β -glucanes. Dans certains moûts d'orge ou d'avoine, les β -glucanes peuvent contribuer fortement à la viscosité. Dans d'autres matrices, les arabinoxylanes dominent davantage. Une réponse enzymatique pertinente dépend donc de la cause réelle du problème de filtration ou de viscosité [1].

L'effet sensoriel doit aussi être considéré avec nuance. Réduire fortement certaines fractions polysaccharidiques peut modifier la perception de corps, de rondeur ou de texture, surtout dans des styles où la matière céréalière participe au profil recherché. Les données sur les arabinoxylanes du blé rappellent que toutes les fractions ne sont pas nécessairement défavorables ; le contrôle de leur masse moléculaire est plus pertinent qu'une dégradation indiscriminée [4].

Enfin, les résultats observés dans des études publiées concernent souvent des enzymes spécifiques, des substrats définis et des conditions contrôlées. Une xylanase étudiée pour son potentiel brassicole ne représente pas automatiquement toutes les préparations commerciales. Les études sur des xylanases à large adaptabilité de pH et de température soutiennent l'intérêt technologique de cette famille enzymatique, mais elles ne dispensent pas d'une intégration raisonnée au procédé de brassage réel [6].

Positionnement de Xylanase Enzyme for Brewers d'Enzymes.bio

Enzymes.bio propose **Xylanase Enzyme for Brewers** comme enzyme destinée aux applications de performance du moût et de brassage. Le produit est présenté dans une logique d'usage brassicole, avec un positionnement centré sur la gestion des xylanes et arabinoxylanes qui peuvent limiter l'écoulement, la filtration et la régularité du procédé .

Enzymes.bio doit être compris ici comme un fournisseur en ligne, et non comme un fabricant ni comme un laboratoire d'analyse. Le produit est vendu 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 qui permet à l'utilisateur professionnel de disposer des documents associés au lot livré .

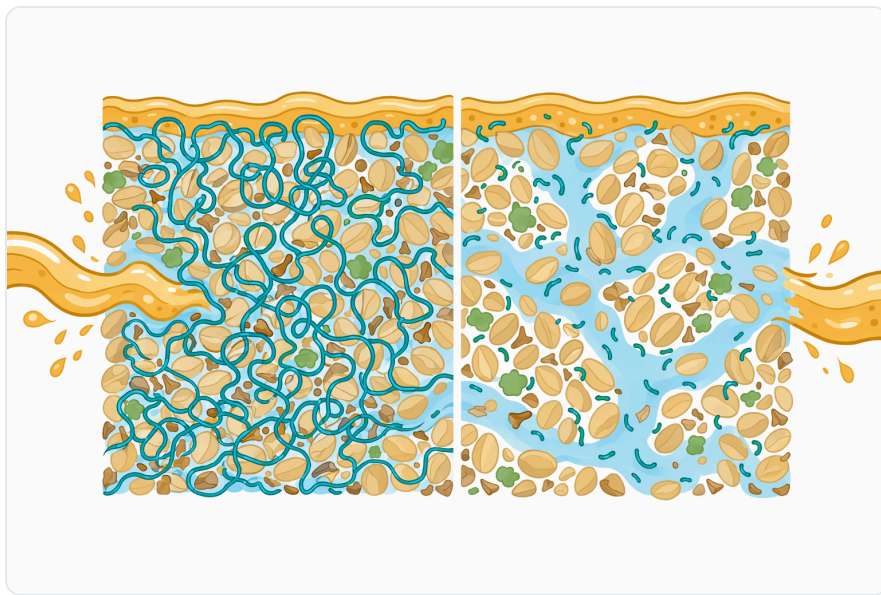


Figure 6. 아라비노자일란 사슬을 짧게 만들면 중합체로 인한 점도를 낮추고 매시 고형물 사이로 액체가 더 잘 이동하도록 할 수 있습니다.

Ce positionnement convient aux brasseries qui savent déjà où intégrer une enzyme de procédé dans leur schéma d'empâtage et qui cherchent une xylanase dédiée aux contraintes de moût. La valeur technique de l'enzyme est la plus claire lorsque la difficulté visée correspond bien à sa cible biochimique : arabinoxylanes, xylanes, hémicelluloses de céréales et viscosité polysaccharidique .

Intégration dans une stratégie de brassage cohérente

Une utilisation efficace de la xylanase commence par une compréhension du rôle des parois cellulaires dans la recette. Dans une bière fortement céréalière, la quantité et la nature des hémicelluloses peuvent influencer l'extraction et la filtration autant que la teneur en amidon. L'enzyme intervient alors

comme un levier de transformation de la matrice, pas comme un correcteur général de toutes les difficultés de production [2].

Le concassage reste déterminant. Un broyage trop fin augmente la charge en particules et peut provoquer un colmatage mécanique que la xylanase ne résoudra pas entièrement. À l'inverse, une mouture adaptée mais riche en polysaccharides solubles peut bénéficier davantage d'une action enzymatique ciblée. Cette distinction entre contrainte mécanique et contrainte biochimique est essentielle pour interpréter correctement les résultats [1].

Le profil d'empâtage doit ensuite permettre à l'enzyme d'agir. Si la xylanase est exposée trop rapidement à des conditions qui l'inactivent, ou si le substrat n'est pas encore accessible, l'effet sera limité. Les recherches sur les xylanases pour le brassage mettent en avant l'importance d'enzymes capables de fonctionner dans des conditions compatibles avec le moût, notamment en termes de pH et de température [6].

La fermentation elle-même n'est pas la cible principale de la xylanase, mais un moût plus régulier peut indirectement faciliter la conduite du procédé. Les levures de brasserie sont sensibles à de nombreux stress pendant la fermentation, notamment liés à la composition du moût, à l'éthanol, à la pression osmotique et à d'autres facteurs environnementaux [9]. La xylanase n'est pas un outil de gestion du stress levurien, mais elle peut participer en amont à une matrice de moût plus maîtrisée lorsque les polysaccharides posent problème.

Lecture scientifique : ce qui est solide et ce qui doit rester prudent

Le point le plus solide est le mécanisme enzymatique : les xylanases hydrolysent les liaisons du xylane et des arabinoxylanes, ce qui modifie la taille et les propriétés des polymères hémicellulosiques. Ce mécanisme est largement établi dans les revues sur les xylanases industrielles et alimentaires [1].

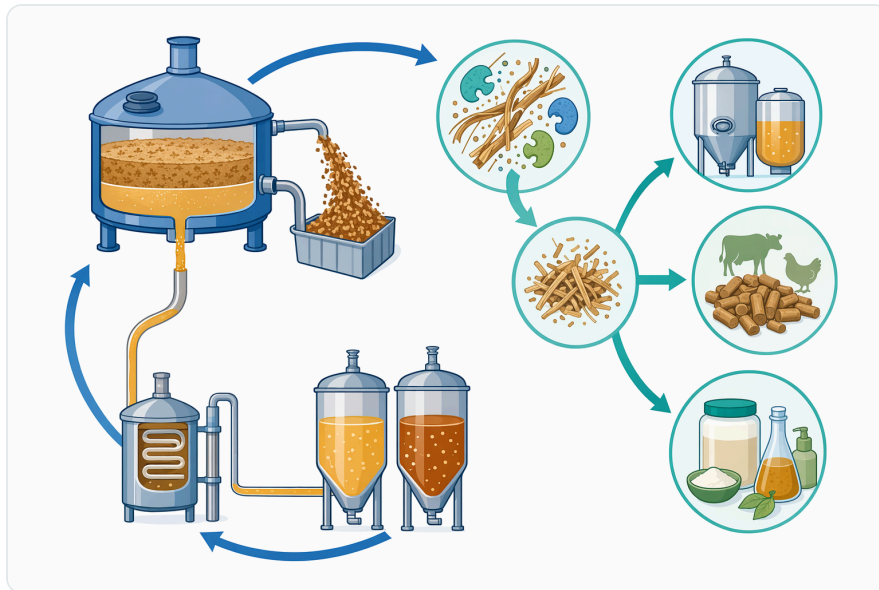


Figure 7. 여과에 영향을 미치는 동일한 헤미셀룰로스 구조는 양조 부산물인 맥주박을 후속 가치화 공정에서 어떻게 고부가가치화할 수 있는지도 좌우합니다.

Le deuxième point solide est l'impact des arabinoxyanes sur la viscosité et la filtration des moûts céréaliers. Les études consacrées au moût, à l'activité xylanase et aux arabinoxyanes du blé montrent que les fractions de masse moléculaire élevée peuvent pénaliser l'écoulement et augmenter la turbidité [4].

Le point qui exige le plus de prudence est la transposition directe d'une étude à un produit ou à une brasserie donnée. Une enzyme peut être très performante dans une matrice et moins visible dans une autre si le substrat est inaccessible, si la viscosité vient d'un autre polymère ou si les conditions de procédé ne correspondent pas à son domaine d'activité. Les travaux sur des xylanases à large adaptabilité montrent le potentiel de cette famille, mais ils ne doivent pas être interprétés comme une garantie universelle [6].

Conclusion

Xylanase Enzyme for Brewers est un auxiliaire de procédé pertinent lorsque les difficultés de brassage sont liées aux xylanes et arabinoxyanes des céréales. Son action consiste à fragmenter les chaînes hémicellulosiques, ce qui peut réduire leur contribution à la viscosité du moût, améliorer la filtrabilité et aider à maîtriser certaines formes de turbidité polysaccharidique [3].

Son intérêt est particulièrement crédible dans les recettes à base de blé, de seigle, d'orge riche en hémicelluloses ou d'adjuncts céréaliers, où la matrice pariétale influence fortement l'écoulement. Elle doit toutefois être distinguée des amylases, β -glucanases et protéases, car chaque enzyme répond à un

substrat et à un problème technologique différents ^[2].

Enzymes.bio fournit cette xylanase pour les applications brassicoles en achat direct en ligne par unité de 1 kg, avec CoA et SDS fournis avec la commande. Pour un brasseur, la meilleure lecture technique est la suivante : utiliser la xylanase comme outil ciblé de maîtrise des arabinoxylanes, dans une fenêtre de procédé compatible, avec un objectif clair de fluidité du moût, de filtration plus régulière et de meilleure stabilité opérationnelle .

Commander Xylanase Enzyme For Brewers 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 Xylanase Enzyme For Brewers →](#)

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. Kumar, V., & Shukla, P. (2016). Functional Aspects of Xylanases Toward Industrial Applications.
2. Sharma, K., Thakur, A., & Goyal, A. (2018). Xylanases for Food Applications. *Energy, Environment, and Sustainability*.
3. 2018 2 14 Xylanase Activity And Wort Viscosity.Pdf. *Megazyme*.
4. 30816076. *Nih*.
5. Marcus, A. K., & Fox, G. (2021). Fungal Biovalorization of a Brewing Industry Byproduct, Brewer's Spent Grain: A Review. *Foods*, 10.
6. Qiu, Z., Shi, P., Luo, H., Bai, Y., Yuan, T., Yang, P., Liu, S., ... et al. (2010). A xylanase with broad pH and temperature adaptability from *Streptomyces megasporus* DSM 41476, and its potential application in brewing industry. *Enzyme and Microbial Technology*, 46 6, 506-12 .
7. Faulds, C., Bartolomé, B., & Williamson, G. (1997). Novel biotransformations of agro-industrial cereal waste by ferulic acid esterases. *Industrial Crops and Products*, 6, 367-374.
8. Zheng, Y., Li, Y., Liu, W., Chen, C., Ko, T., He, M., Xu, Z., ... et al. (2016). Structural insight into potential cold adaptation mechanism through a psychrophilic glycoside hydrolase family 10 endo- β -1,4-xylanase. *Journal of Structural Biology*, 193 3, 206-211 .
9. Chen, Y., Yang, Y., Cai, W., Zeng, J., Liu, N., Wan, Y., & Fu, G. (2022). Research progress of anti-environmental factor stress mechanism and anti-stress tolerance way of *Saccharomyces cerevisiae* during the brewing process. *Critical*

reviews in food science and nutrition, 63, 12308 - 12323.

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.