

Pullulanase Enzyme For Beer Brewing : enzyme de débranchement pour brassage, atténuation élevée et bières faibles en glucides

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

Pullulanase Enzyme For Beer Brewing est une enzyme de débranchement utilisée en brasserie pour couper des liaisons ramifiées dans les dextrans issues de l'amidon, afin de rendre le moût plus accessible aux enzymes de saccharification. Elle est surtout pertinente pour les bières très atténuées, les bières sèches ou à faible teneur en glucides, et les recettes contenant des adjoints ou des céréales dont la conversion amidonnaire est plus difficile à maîtriser. Enzymes.bio la fournit en ligne par unité de 1 kg ; le CoA et la SDS sont fournis avec la commande.

Rôle de la pullulanase dans le brassage de la bière

La pullulanase appartient aux enzymes amylolytiques dites de débranchement. Son intérêt vient du fait que l'amidon des céréales brassicoles n'est pas une molécule uniforme : il comprend des fractions linéaires et des fractions ramifiées. Les amylases classiques fragmentent une grande partie des chaînes glucidiques, mais les points de ramification peuvent persister sous forme de dextrans limites moins fermentescibles. Les travaux historiques sur le mécanisme d'action de la pullulanase décrivent précisément son rôle dans l'hydrolyse de structures ramifiées, ce qui explique son usage comme complément d'un système amylolytique plutôt que comme simple substitut d'une amylase ^[1].

Dans un moût de brasserie, cette fonction est directement liée à la fermentescibilité. Une dextrine ramifiée qui reste intacte contribue davantage au corps et aux sucres résiduels qu'à la production d'alcool, car la levure de brasserie ne fermente pas toutes les dextrans complexes. Lorsque la pullulanase ouvre certains points de ramification, les chaînes deviennent plus accessibles à l'action d'autres enzymes, notamment les amylases et les glucoamylases utilisées pour convertir l'amidon et les dextrans en sucres fermentescibles ^[2].

Il faut toutefois éviter une interprétation trop simplifiée. La pullulanase ne « transforme pas toute la bière » et ne crée pas directement un arôme, une mousse ou une stabilité colloïdale. Son action principale concerne la structure des glucides du moût. Les additifs et auxiliaires enzymatiques utilisés en brasserie ont des mécanismes distincts selon leurs substrats : amidon, β -glucanes, protéines ou autres composés de la matrice brassicole [2].

Pourquoi les ramifications de l'amidon posent problème

L'amidon des céréales est composé d'amylose, plutôt linéaire, et d'amylopectine, fortement ramifiée. Pendant l'empâtage, la gélatinisation rend l'amidon plus accessible, puis les enzymes endogènes du malt ou les enzymes ajoutées fragmentent les polymères. Cependant, les ramifications de l'amylopectine créent des zones où l'attaque enzymatique est moins directe. C'est dans ce contexte que l'expression « enzyme de débranchement » prend tout son sens : la pullulanase réduit des obstacles structuraux plutôt que de simplement raccourcir des chaînes linéaires [1].

La difficulté est plus visible lorsque les matières premières s'éloignent du malt d'orge bien modifié. Les adjoints riches en amidon, les céréales locales ou les matrices alternatives peuvent présenter des comportements différents lors de la gélatinisation et de la saccharification. Dans le cas du sorgho, par exemple, des travaux récents ont montré que les complexes amidon-lipides peuvent inhiber la gélatinisation pendant le traitement thermique, ce qui influence ensuite l'accessibilité de l'amidon aux enzymes [3].

La pullulanase ne résout pas à elle seule toutes les contraintes physiques de l'amidon. Si l'amidon n'est pas suffisamment accessible, si la température du procédé n'a pas permis une gélatinisation adéquate ou si les autres enzymes nécessaires sont absentes, le débranchement seul ne garantit pas une conversion complète. Elle agit donc dans un ensemble de conditions où la structure du substrat, la disponibilité de l'eau, le profil thermique et la présence d'enzymes complémentaires déterminent le résultat final [4].

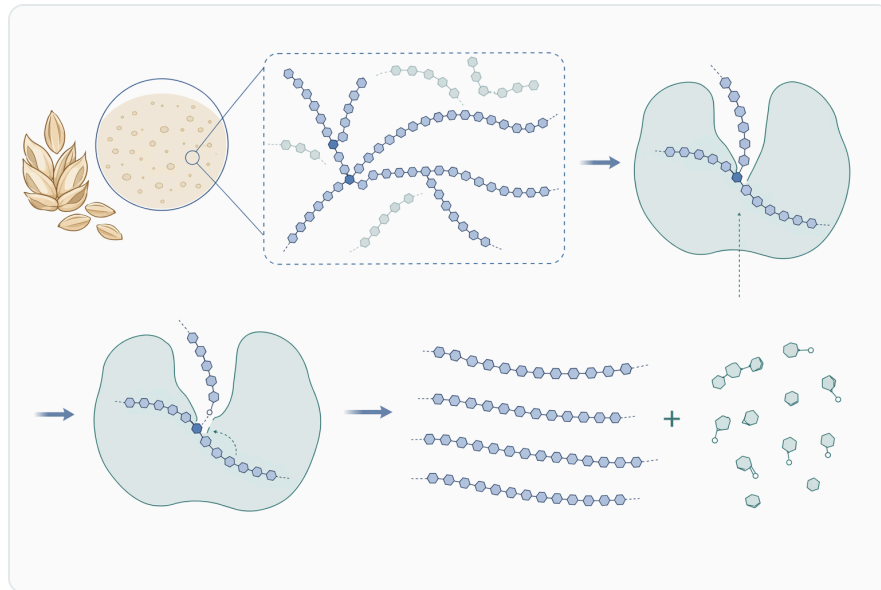


Figure 1. 풀룰라나아제는 아밀로펙틴에서 유래한 덱스트린의 α -1,6 가지 결합을 절단하여, 그 조각들이 당화 효소에 더 쉽게 작용받도록 한다.

Mécanisme d'action : ce que la pullulanase coupe réellement

La pullulanase est connue pour hydrolyser des liaisons α -1,6 dans des glucides ramifiés. Dans les substrats apparentés à l'amidon, ces liaisons correspondent aux points de branchement qui relient des chaînes glucidiques entre elles. En les coupant, l'enzyme transforme une structure compacte et ramifiée en fragments plus linéaires, plus faciles à traiter par les enzymes qui progressent depuis les extrémités ou le long des chaînes ^[1].

Ce mécanisme explique la complémentarité entre pullulanase, α -amylase et glucoamylase. L' α -amylase fragmente les chaînes d'amidon en dextrans plus courtes ; la glucoamylase libère progressivement du glucose à partir des extrémités non réductrices ; la pullulanase augmente le nombre de chaînes accessibles en retirant une partie des points de branchement. Dans une logique de brassage très atténué, ces actions ne sont pas redondantes : elles ciblent des sites différents de la même matrice glucidique ^[4].

La spécificité de la pullulanase est également importante pour limiter les attentes irréalistes. Une enzyme de débranchement n'a pas le même rôle qu'une protéase, qu'une β -glucanase ou qu'une enzyme impliquée dans la libération d'arômes. Elle modifie principalement le profil de glucides fermentescibles et non fermentescibles. Les documents consacrés aux additifs de brasserie soulignent justement que chaque enzyme doit être comprise par son substrat et son mécanisme d'action plutôt que par une promesse générale d'« amélioration » de la bière ^[2].

Comparaison avec les autres enzymes amylolytiques de brasserie

La pullulanase est plus facile à positionner lorsqu'on la compare aux enzymes qui l'accompagnent souvent dans les procédés de saccharification. Le tableau ci-dessous résume les rôles technologiques sans donner de conditions opératoires chiffrées, car celles-ci dépendent de la préparation enzymatique, de la recette et du procédé.

Enzyme	Substrat ou zone ciblée	Action principale en brasserie	Effet attendu sur le moût	Limite principale
α -amylase	Chaînes internes de l'amidon	Liquéfaction et fragmentation des polymères	Réduction de la viscosité, production de dextrans plus courtes	Ne supprime pas à elle seule tous les points de ramification
β -amylase	Extrémités de chaînes accessibles	Libération de maltose à partir de chaînes compatibles	Augmentation des sucres fermentescibles du moût	Son action est limitée par les ramifications et l'accessibilité du substrat
Glucoamylase / amyloglucosidase	Extrémités non réductrices des dextrans	Libération progressive de glucose	Forte augmentation potentielle de la fermentescibilité	Plus efficace lorsque les dextrans sont accessibles et moins ramifiées
Pullulanase	Liaisons α -1,6 des points de branchement	Débranchement des dextrans ramifiées	Améliore l'accessibilité aux enzymes de saccharification	Fonctionne comme complément ; ne remplace pas les autres étapes de conversion

Cette comparaison montre pourquoi la pullulanase est rarement pensée comme une enzyme isolée dans les schémas de conversion poussée. Son intérêt augmente lorsque le procédé contient déjà des étapes ou des enzymes capables d'exploiter les chaînes rendues accessibles. La littérature sur les enzymes de modification de l'amidon insiste sur la différence entre modes d'action et sites d'attaque, un point essentiel pour comprendre les synergies enzymatiques ^[4].

Applications brassicoles principales

Bières très atténuées et finale plus sèche

L'application la plus directe de la pullulanase en brasserie est l'augmentation de la fermentescibilité du moût. En réduisant la proportion de dextrans ramifiés difficiles à convertir, elle peut soutenir une atténuation plus élevée lorsque la levure, la fermentation et les autres enzymes du procédé sont cohérentes. Le résultat recherché est généralement une bière plus sèche, avec moins de sucres résiduels et une perception de corps plus légère [2].



Figure 2. 전분 전환 과정이 유기적으로 진행될 때 α -아밀라아제는 덱스트린을 만들고, 풀룰라나아제는 가지 구조의 장벽을 제거하며, 당화 효소는 발효 가능한 당의 생성을 늘린다.

Cette logique est particulièrement pertinente pour les bières où la densité finale doit rester basse. Dans ce cas, la pullulanase ne « force » pas la levure à fermenter ; elle modifie plutôt la disponibilité du substrat fermentescible. La levure reste responsable de la fermentation, mais elle reçoit un moût dont la fraction glucidique a été orientée vers des sucres plus simples ou plus facilement convertibles [1].

Bières faibles en glucides et bières légères

Les bières faibles en glucides exigent une gestion précise des dextrans résiduelles. Si une fraction importante de glucides reste sous forme non fermentescible, la teneur résiduelle en extrait peut rester supérieure à l'objectif. La pullulanase est alors utile comme levier de débranchement, surtout lorsqu'elle est associée à des enzymes capables d'achever la saccharification des chaînes libérées [4].

Il convient cependant de maîtriser l'équilibre sensoriel. Une conversion trop poussée peut donner une bière très sèche, parfois perçue comme mince si la recette n'est pas construite pour compenser la réduction de corps. L'enzyme doit donc être envisagée comme un outil d'ajustement du profil de glucides, non comme une garantie automatique de qualité sensorielle ^[2].

Recettes avec adjoints : riz, maïs, avoine, sorgho et céréales locales

L'utilisation d'adjoints peut améliorer le coût matière, créer des profils de bière particuliers ou répondre à des contraintes locales. Elle peut aussi modifier l'équilibre enzymatique du moût, surtout si la proportion de malt enzymatiquement actif diminue. Dans ce contexte, les enzymes exogènes de brassage servent à sécuriser certaines fonctions : liquéfaction, saccharification, réduction de viscosité ou débranchement .

La pullulanase est particulièrement intéressante lorsque les adjoints apportent une charge amidonnaire importante mais que la conversion complète est limitée par la structure ramifiée des dextrines. Le sorgho illustre bien la complexité des céréales alternatives : ses interactions amidon-lipides et ses conditions de traitement peuvent influencer la gélatinisation, donc l'efficacité des étapes enzymatiques ultérieures ^[3].

Optimisation de l'extrait fermentescible

Une conversion plus complète des glucides peut améliorer l'utilisation de l'extrait, à condition que la limitation provienne bien d'une saccharification incomplète. La pullulanase contribue alors à transformer une fraction de dextrines peu utilisables en substrats plus accessibles. Elle ne crée pas de matière : elle aide à exploiter plus efficacement les glucides déjà présents dans la charge céréalière ^[4].

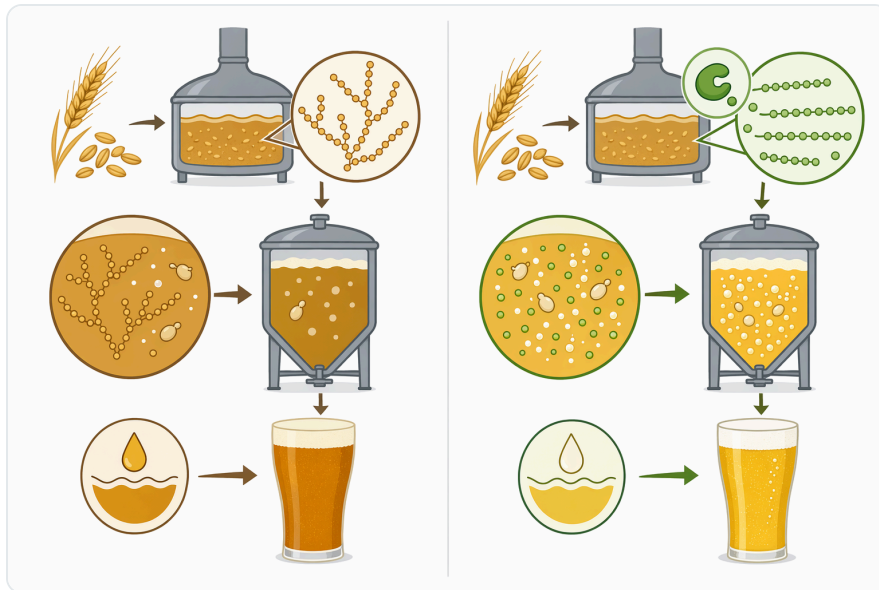


Figure 3. 풀룰라나아제는 주요 양조 역할이 액화나 직접적인 당 방출이 아니라 가지 제거라는 점에서 α -아밀라아제, β -아밀라아제, 글루코아밀라아제와 다르다.

Cette nuance est importante pour les brasseries qui cherchent à améliorer la régularité du rendement. Si la perte d'extrait vient d'un broyage inadapté, d'une filtration difficile, d'une gélatinisation insuffisante ou d'une séparation imparfaite, la pullulanase ne corrige qu'une partie du problème. En revanche, si la limite est liée à la persistance de dextrans ramifiés, son mécanisme est directement pertinent ^[4].

Points d'intégration dans le procédé de brassage

La pullulanase s'intègre généralement dans les phases où l'amidon et les dextrans sont accessibles et où les enzymes de conversion ont le temps d'agir. En pratique, cela correspond aux étapes de brassage liées à l'empâtage, à la saccharification ou à des procédés de conversion contrôlée du moût. Les enzymes utilisées en brasserie sont sensibles au contexte : température, pH, substrat disponible, durée de contact et interactions avec les autres constituants du moût influencent leur efficacité ^[2].

Le moment d'ajout doit donc être cohérent avec la fonction recherchée. Une addition trop tardive, lorsque l'enzyme est rapidement inactivée par un traitement thermique, limite son intérêt. À l'inverse, une présence pendant une fenêtre où les dextrans ramifiés sont disponibles et où les autres enzymes peuvent exploiter les chaînes débranchées favorise une conversion plus rationnelle ^[1].

Il est également utile de penser la pullulanase comme une enzyme de « préparation » du substrat pour d'autres activités. En ouvrant des points de branchement, elle augmente le nombre de segments linéaires accessibles. Cette action peut améliorer l'efficacité apparente de la glucoamylase ou d'autres

enzymes saccharifiantes, car ces dernières rencontrent moins d'obstacles structuraux dans les dextrines issues de l'amylopectine [4].

Effets attendus sur la composition du moût et de la bière

Le principal effet attendu est une augmentation de la part de sucres fermentescibles par rapport aux dextrines résiduelles. Cette évolution peut se traduire par une atténuation plus élevée, une densité finale plus basse et une perception de sécheresse accrue. Dans les recettes de bières légères ou à faible teneur résiduelle en glucides, cet effet est souvent l'objectif technique central [2].

La pullulanase peut aussi modifier l'équilibre entre alcool, corps et sucres résiduels. Lorsque davantage de glucides deviennent fermentescibles, la levure peut produire plus d'éthanol et de CO₂ à partir du même extrait initial, sous réserve que la fermentation soit conduite correctement. En parallèle, la réduction des dextrines peut diminuer la rondeur en bouche. Cette conséquence n'est pas un défaut en soi : elle dépend du style visé [1].



Figure 4. 풀룰라나아제는 가지 달린 덱스트린이 발효성을 제한할 수 있는 드라이하고 발효도가 높은 맥주, 저탄수화물 제품, 부원료 양조, 고비중 공정에서 특히 중요하다.

L'effet sur la stabilité et la limpidité est indirect. Une meilleure conversion de certains glucides peut réduire des fractions résiduelles, mais la stabilité colloïdale dépend aussi des protéines, polyphénols, β -glucanes, levures, particules fines et conditions de filtration ou de clarification. Les additifs brassicoles ont des mécanismes spécifiques ; il serait donc inexact d'attribuer à la pullulanase des fonctions qui relèvent d'autres familles enzymatiques ou d'autres auxiliaires technologiques [2].

Matières premières alternatives : intérêt et limites

Les brasseries qui travaillent avec des céréales alternatives ou des adjoints doivent souvent gérer une variabilité accrue. La composition de l'amidon, la température de gélatinisation, la présence de lipides, de fibres ou de composés phénoliques peuvent modifier la disponibilité du substrat. Dans ce cadre, la pullulanase est un outil de conversion glucidique, mais elle ne remplace pas la conception globale du procédé ^[3].

Les enzymes issues de microorganismes extrêmophiles ou adaptées à des conditions industrielles variées sont un sujet d'intérêt croissant pour l'industrie alimentaire. Cette dynamique montre que les enzymes sont recherchées non seulement pour leur spécificité, mais aussi pour leur robustesse dans des matrices alimentaires complexes. La pullulanase s'inscrit dans cette famille d'outils enzymatiques capables de cibler des structures glucidiques précises ^[5].

Pour les céréales comme le sorgho, l'enjeu n'est pas seulement de « couper l'amidon ». Il faut d'abord rendre l'amidon disponible, puis hydrolyser les chaînes de manière efficace, tout en tenant compte des interactions avec les autres constituants. Les travaux sur l'inhibition de la gélatinisation du sorgho par des complexes amidon-lipides illustrent cette interaction entre structure physique et conversion enzymatique ^[3].

Production et diversité des pullulanases : implications pour l'usage alimentaire

La pullulanase est produite par divers microorganismes, notamment des bactéries étudiées pour leur capacité à sécréter des enzymes extracellulaires. Des recherches sur la production de pullulanase par *Aerobacter aerogenes* ont montré l'importance de facteurs d'induction dans la production extracellulaire, ce qui souligne que l'enzyme est bien documentée comme produit microbien spécialisé ^[6].

D'autres travaux ont décrit des pullulanases alcalines issues de souches de *Bacillus*, avec purification et caractérisation de propriétés enzymatiques. Même si ces données ne doivent pas être transposées directement à chaque produit commercial, elles confirment la diversité des pullulanases et l'importance des propriétés propres à chaque préparation enzymatique ^[7].

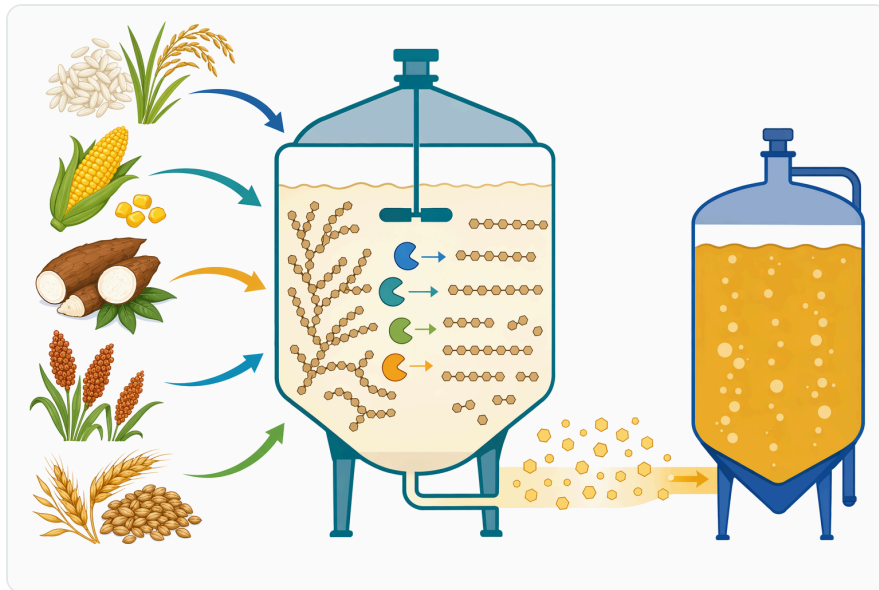


Figure 5. 부원료 비중이 높은 레시피에서는 보리 이외의 전분이 가지 달린 텍스 트린 분획을 제공할 수 있으므로, 과도적인 전분 전환 지원이 도움이 될 수 있다.

Pour l'utilisateur brassicole, cette diversité signifie qu'il faut raisonner à partir du rôle technologique annoncé et de la documentation fournie avec le produit commandé, plutôt qu'à partir d'une valeur universelle. Enzymes.bio agit comme fournisseur de l'enzyme et non comme fabricant ou laboratoire ; les documents accompagnant la commande, notamment le CoA et la SDS, servent de références produit pour l'usage professionnel.

Interaction avec la levure et le profil de fermentation

La pullulanase agit avant tout sur le moût ; la levure agit ensuite sur les sucres fermentescibles. Si la pullulanase augmente la disponibilité de sucres simples ou de dextrans plus facilement convertibles, elle peut influencer le profil de fermentation de manière indirecte. La levure dispose alors d'une matrice différente, avec un potentiel d'atténuation plus élevé, mais le résultat dépend toujours de la souche, de la vitalité cellulaire, de l'oxygénation, de la température de fermentation et de la nutrition azotée ^[2].

Cette distinction est essentielle pour éviter de confondre conversion enzymatique et performance fermentaire. Une enzyme peut améliorer la disponibilité du substrat, mais elle ne corrige pas une levure stressée, une fermentation bloquée pour des raisons nutritionnelles ou une contamination. La pullulanase prépare le terrain glucidique ; elle ne remplace pas le pilotage microbiologique du brassage ^[1].

Les recherches récentes sur l'enrichissement d'oligosaccharides dérivés de l'amidon dans la bière montrent que les conversions enzymatiques en cours de procédé peuvent modifier la composition glucidique du produit final. Même si ce travail concerne une transglycosidase et non la pullulanase, il illustre l'importance croissante de la conception enzymatique du profil glucidique des bières modernes [8].

Avantages techniques attendus

Le premier avantage est l'amélioration de la fermentescibilité lorsque la limitation provient de dextrans ramifiés. En coupant des liaisons de branchement, la pullulanase rend une partie de la matrice plus accessible et soutient la conversion en sucres utilisables par la levure. Ce mécanisme est directement cohérent avec les données historiques sur son action de débranchement [1].

Le deuxième avantage est la flexibilité des recettes. Les brasseries qui travaillent avec des adjoints ou des matières premières variables peuvent utiliser des enzymes pour sécuriser certaines fonctions de conversion. La pullulanase complète alors les enzymes de liquéfaction et de saccharification dans les procédés où les ramifications de l'amidon limitent l'extraction fermentescible .

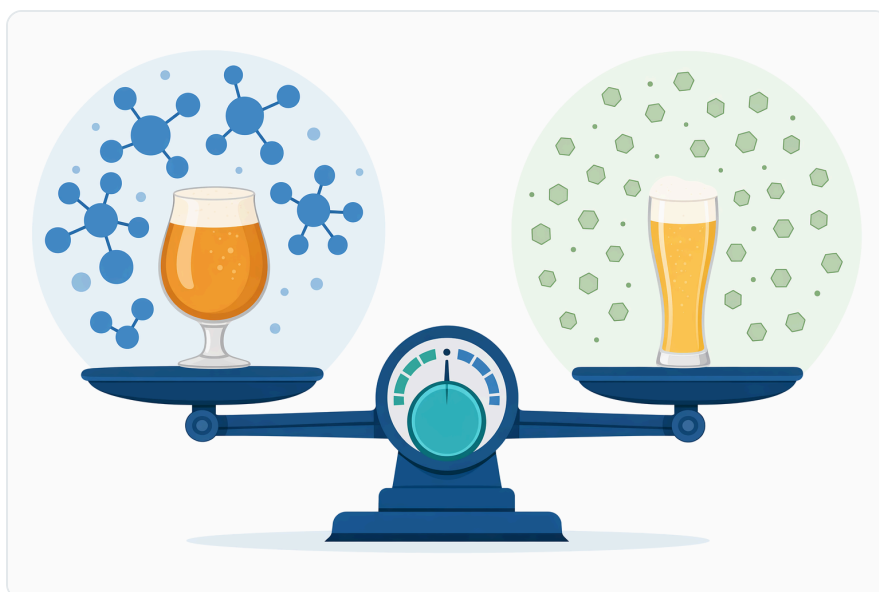


Figure 6. 발효 가능한 당과 잔류 덱스트린의 비율이 달라지면 맥주의 특성은 더 풍부한 단맛 쪽이나 더 드라이한 피니시 쪽으로 이동한다.

Le troisième avantage est la possibilité de construire des profils plus secs ou plus légers. Dans les bières où l'objectif est une finale nette et une faible teneur résiduelle en glucides, l'enzyme permet d'orienter le goût vers une composition plus fermentescible. Cette orientation doit toutefois être contrôlée pour préserver l'équilibre sensoriel recherché [2].

Limites et précautions d'interprétation

La pullulanase n'est pas une solution universelle pour tous les problèmes de brassage. Si la cause d'un rendement faible se situe dans le concassage, la filtration, la séparation du moût, la qualité du malt ou la conduite thermique, son effet peut rester limité. Son champ d'action est précis : les structures glucidiques ramifiées, principalement dans le cadre de la conversion de l'amidon et des dextrines ^[4].

Son effet dépend aussi du procédé. Une enzyme est une protéine catalytique dont l'activité varie selon les conditions du milieu. Une température inadaptée, un pH défavorable, un temps de contact trop court ou un substrat peu accessible peuvent réduire l'efficacité observée. Les pullulanases décrites dans la littérature présentent des propriétés différentes selon leur origine, ce qui confirme qu'il ne faut pas raisonner comme si toutes les préparations étaient interchangeables ^[7].

Enfin, une conversion très poussée n'est pas toujours souhaitable. Les dextrines résiduelles participent au corps, à la perception de rondeur et à l'équilibre global de certaines bières. Pour une bière de dégustation où la texture et la densité finale font partie du style, l'usage de pullulanase doit être aligné sur l'objectif sensoriel, non appliqué automatiquement ^[2].

Tableau de décision technique selon l'objectif brassicole

Objectif de brasserie	Pertinence de la pullulanase	Effet technologique recherché	Points à surveiller
Produire une bière très atténuée	Élevée	Réduire les dextrines ramifiées et augmenter la fermentescibilité	Équilibre entre sécheresse, alcool et corps
Développer une bière faible en glucides	Élevée	Diminuer la fraction glucidique résiduelle via une conversion plus complète	Cohérence avec glucoamylase, levure et fermentation
Utiliser davantage d'adjoints amidonniers	Moyenne à élevée	Soutenir la conversion d'amidons et dextrines moins faciles à exploiter	Gélatinisation, accessibilité du substrat, viscosité
Corriger un défaut aromatique	Faible	La pullulanase n'est pas une enzyme d'arôme	Identifier plutôt la cause fermentaire ou matière
Améliorer la filtration seule	Variable	Effet indirect possible si des dextrines contribuent au problème	Les β -glucanes, protéines et particules relèvent d'autres leviers

Objectif de brasserie	Pertinence de la pullulanase	Effet technologique recherché	Points à surveiller
Renforcer le corps d'une bière	Faible ou contre-productif	La pullulanase tend plutôt à réduire certaines dextrans	Risque de bière plus sèche ou plus mince

Ce tableau montre que la pullulanase est surtout un outil de conception du profil glucidique. Elle est très pertinente quand l'objectif est de convertir davantage de dextrans ramifiés, mais moins pertinente lorsque le problème concerne la mousse, l'arôme, la stabilité microbiologique ou la filtration liée à d'autres macromolécules ^[2].

Positionnement d'Enzymes.bio pour Pullulanase Enzyme For Beer Brewing

Enzymes.bio fournit **Pullulanase Enzyme For Beer Brewing** comme enzyme destinée aux usages professionnels de brassage où le débranchement des dextrans peut améliorer la conversion glucidique. Enzymes.bio n'est ni un fabricant ni un laboratoire ; son rôle est de rendre le produit disponible à l'achat en ligne, avec une présentation adaptée aux utilisateurs industriels et artisanaux qui connaissent leurs paramètres de procédé.



Figure 7. 풀룰라나아제는 발효가 완료되었을 때 잔류 덱스트린, 바디감, 단맛을 줄임으로써 향과 풍미의 인식에 간접적으로 영향을 준다.

Le produit est vendu directement en ligne par unité de **1 kg**. Après paiement en ligne, la commande est traitée et expédiée selon le processus de vente applicable. Le **certificat d'analyse — CoA —** et la **fiche de données de sécurité — SDS —** sont fournis avec la commande, afin d'accompagner l'intégration du produit dans un cadre professionnel.

Ce positionnement est volontairement pratique : la pullulanase est présentée comme un auxiliaire enzymatique de conversion, non comme une promesse de résultat uniforme. Les performances observées dans une brasserie dépendent du moût, des céréales, du profil d'empâtage, des autres enzymes présentes, de la levure et de la conduite de fermentation .

Conclusion

Pullulanase Enzyme For Beer Brewing est une enzyme de débranchement utile pour les brasseurs qui cherchent à améliorer la conversion des dextrines ramifiées en substrats plus accessibles aux enzymes de saccharification. Son mécanisme, centré sur l'hydrolyse de liaisons de branchement, en fait un complément logique de l' α -amylase et de la glucoamylase dans les procédés visant une atténuation élevée, une finale sèche ou une faible teneur résiduelle en glucides ^[1].

Son intérêt est particulièrement marqué dans les bières très atténuées, les bières légères, les recettes avec adjoints et les procédés où la variabilité des matières premières complique la conversion amidonnière. Elle doit néanmoins être utilisée comme un levier technique ciblé : elle ne remplace ni la maîtrise de l'empâtage, ni la qualité de la fermentation, ni les autres enzymes nécessaires à la gestion des protéines, des β -glucanes ou de la stabilité de la bière ^[2].

Enzymes.bio fournit cette enzyme en ligne par unité de 1 kg, avec CoA et SDS fournis avec la commande. Pour les brasseries, la valeur de la pullulanase réside dans sa précision : agir sur les ramifications glucidiques pour orienter le profil fermentescible du moût, tout en laissant au brasseur la maîtrise globale du style, du procédé et de l'équilibre sensoriel final.

Commander Pullulanase Enzyme For Beer Brewing 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 Pullulanase Enzyme For Beer Brewing →](#)

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. Drummond, G., Smith, E. E., Whelan, W., & Tai, H. (1969). Mechanism of action of pullulanase. *FEBS Letters*, 5.

2. Nisamedtinov, I. (2016). Õlletootmisel kasutatavad lisaained ja nende toimemehhanismid. Additives used in brewing process and their mechanism of action.
3. He, Z., Zhu, Z., Jiang, L., He, H., Cheng, Z., Wang, C., Chen, X., ... et al. (2025). New insight into starch-lipid complexes inhibiting the starch gelatinization during sorghum grain steaming. *Food Research International*, 221 Pt 4, 117591 .
4. Wang, T., Wang, F., Ma, R., & Tian, Y. (2022). Enzymatically modified starch for paper surface sizing: Enzymes with different action modes and sites. *Carbohydrate Polymers*, 291, 119636 .
5. Ashaolu, T. J., Malik, T., Soni, R., Prieto, M., & Jafari, S. (2024). Extremophilic Microorganisms as a Source of Emerging Enzymes for the Food Industry: A Review. *Food Science & Nutrition*, 13.
6. Ohba, R., & Ueda, S. (1982). An Inductive Effector in Production of Extracellular Pullulanase by *Aerobacter aerogenes*. *Agricultural and biological chemistry*, 46, 2425-2431.
7. Ara, K., Igarashi, K., Saeki, K., Kawai, S., & Ito, S. (1992). Purification and Some Properties of an Alkaline Pullulanase from Alkalophilic *Bacillus* sp.KSM-1876. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 56, 62-65.
8. Li, A., Tang, J., Song, X., Qiu, R., Ma, X., Liu, X., Tang, M., ... et al. (2025). Innovative enrichment of starch-derived oligosaccharide in beer mediated by in-process conversion of *Aspergillus niger* transglycosidase. *International Journal of Biological Macromolecules*, 149024 .

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.