

Glucoamylase pour saccharification de l'amidon, fermentation, bioéthanol et sirops de glucose

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

La glucoamylase est une enzyme de saccharification qui transforme les dextrines et fragments d'amidon en glucose, un sucre directement exploitable en fermentation ou en production de sirops. Elle est utilisée dans les procédés à base de maïs, manioc, pomme de terre, blé, riz et autres matières amylacées, souvent après liquéfaction par alpha-amylase ou dans des schémas de saccharification et fermentation simultanées. Enzymes.bio fournit cette enzyme 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 glucoamylase dans la saccharification

La glucoamylase appartient aux enzymes amylolytiques : elle intervient sur l'amidon hydrolysé, les dextrines et certains oligosaccharides pour libérer principalement du glucose. Contrairement aux enzymes qui coupent aléatoirement les chaînes d'amidon, elle agit de manière progressive depuis les extrémités non réductrices des chaînes glucidiques ; c'est cette action qui permet d'augmenter la proportion de glucose fermentescible après une étape de liquéfaction ou de prétraitement de l'amidon. Les applications industrielles de la glucoamylase sont bien documentées dans la production de glucose et dans plusieurs filières de fermentation, notamment avec des enzymes issues de champignons industriels comme *Aspergillus niger* ^[1].

L'amidon est constitué de deux fractions principales : l'amylose, plutôt linéaire, et l'amylopectine, fortement ramifiée. Les liaisons glucosidiques linéaires sont plus accessibles à l'hydrolyse, tandis que les points de ramification limitent la conversion complète si le procédé ne comporte pas d'enzyme adaptée. C'est pourquoi la glucoamylase est souvent combinée à d'autres activités enzymatiques, notamment l'alpha-amylase pour réduire la viscosité et la pullulanase pour traiter les ramifications de l'amylopectine ; la pullulanase est précisément étudiée pour son rôle dans l'hydrolyse de l'amidon et ses applications industrielles ^[2].

Dans un procédé industriel, la glucoamylase ne remplace pas toujours les étapes de préparation de l'amidon. Elle complète la chaîne de transformation : hydratation, cuisson ou gélatinisation partielle, liquéfaction, puis saccharification. Sa valeur technique réside dans la conversion des dextrans résiduelles en glucose, ce qui améliore l'utilisation du carbone par les levures, bactéries ou champignons employés pour produire éthanol, acides organiques, enzymes, ingrédients alimentaires ou autres métabolites biosourcés. Les travaux récents sur les procédés de bioraffinerie enzymatique décrivent précisément cette logique : une même matière première glucidique peut être convertie en plusieurs produits à valeur ajoutée si les étapes enzymatiques sont correctement intégrées [3].

Mécanisme d'action : de l'amidon au glucose fermentescible

La première contrainte d'un substrat amylicé est son accessibilité. Les granules d'amidon natif sont organisés en structures semi-cristallines, dont la résistance varie selon l'origine botanique : maïs, manioc, pomme de terre, riz, blé ou coproduits agro-industriels. Lorsque l'amidon est chauffé en présence d'eau, il gonfle, perd une partie de son organisation interne et devient plus accessible aux enzymes ; cette transformation facilite ensuite l'action de l'alpha-amylase et de la glucoamylase. Des études sur la saccharification de l'amidon de maïs extrudé montrent que la préparation physique du substrat influence fortement les propriétés mécaniques et physicochimiques du système enzymatique [4].

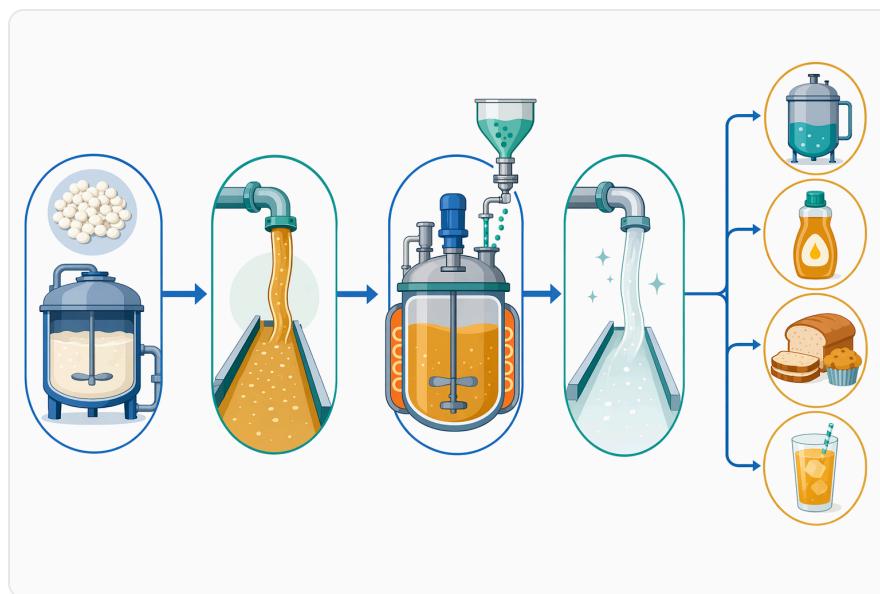


Figure 1. La conversion conventionnelle de l'amidon recourt à la cuisson ou à la liquéfaction pour rendre les dextrans accessibles avant que la glucoamylase ne transforme les extrémités des chaînes en glucose destiné à la fermentation ou à la production de sirops.

L'alpha-amylase, lorsqu'elle est utilisée en amont, coupe les chaînes d'amidon en fragments plus courts et réduit la viscosité du mélange. Cette liquéfaction ne produit pas nécessairement une concentration élevée de glucose : elle génère surtout des dextrans et oligosaccharides. La glucoamylase prend alors le relais en retirant des unités de glucose aux extrémités des chaînes. Dans les systèmes complexes, l'ajout d'enzymes complémentaires peut améliorer la conversion globale, et des travaux sur des cocktails enzymatiques issus d'*Aspergillus niger* ont montré des effets synergiques entre plusieurs enzymes dans la saccharification de l'amidon [1].

La glucoamylase peut hydrolyser les liaisons linéaires de l'amidon et contribuer, selon l'enzyme et le contexte, à l'attaque de certaines ramifications. Cependant, la vitesse et l'étendue de conversion dépendent fortement de la structure du substrat, du degré de liquéfaction, de la matière sèche, du pH, de la température, du temps de contact et de la présence d'inhibiteurs ou de sucres déjà accumulés. Les travaux d'ingénierie enzymatique sur la glucoamylase de *Talaromyces leycettanus* illustrent l'importance de la thermostabilité et de l'efficacité catalytique pour renforcer les applications de saccharification industrielle [5].

Le glucose libéré peut ensuite être consommé par un micro-organisme de fermentation. Dans une saccharification séparée, la conversion enzymatique est réalisée avant l'étape fermentaire. Dans une saccharification et fermentation simultanées, l'enzyme et le micro-organisme fonctionnent ensemble : la glucoamylase libère progressivement le glucose, tandis que la levure ou la bactérie le consomme. Cette intégration peut limiter l'accumulation de sucre libre et soutenir la conversion continue du substrat, principe étudié dans plusieurs procédés de bioéthanol à partir de déchets ou résidus amylicés [6].

Tableau comparatif : alpha-amylase, glucoamylase et pullulanase

Enzyme	Rôle principal dans l'hydrolyse de l'amidon	Effet sur le procédé	Usage typique avec la glucoamylase
Alpha-amylase	Coupe les chaînes internes d'amidon et produit des dextrans plus courts	Réduit la viscosité, facilite la liquéfaction et prépare le substrat	Souvent utilisée avant la glucoamylase pour rendre l'amidon plus accessible
Glucoamylase	Libère progressivement du glucose à partir des extrémités des dextrans et oligosaccharides	Augmente la fraction de glucose fermentescible	Enzyme centrale de saccharification pour fermentation, sirops de glucose et substrats biosourcés
Pullulanase	Hydrolyse des liaisons de ramification dans les	Améliore l'accès aux chaînes linéaires et peut	Peut compléter la glucoamylase lorsque les ramifications limitent

Enzyme	Rôle principal dans l'hydrolyse de l'amidon	Effet sur le procédé	Usage typique avec la glucoamylase
	polysaccharides de type amylopectine ou pullulane	augmenter la conversion finale	la saccharification

La différence entre ces enzymes explique pourquoi les procédés industriels utilisent rarement une seule activité enzymatique pour traiter des amidons complexes. L'alpha-amylase ouvre la structure et diminue la viscosité ; la glucoamylase transforme les fragments en glucose ; la pullulanase peut réduire les limites liées aux ramifications. Cette logique de complémentarité est cohérente avec les revues consacrées au rôle de la pullulanase dans l'hydrolyse de l'amidon et ses applications industrielles ^[2].

Applications industrielles principales

Bioéthanol à partir de matières amylacées

La production de bioéthanol à partir d'amidon repose sur une étape clé : convertir l'amidon en sucres fermentescibles. Les levures industrielles, dont *Saccharomyces cerevisiae*, fermentent efficacement le glucose, mais ne consomment pas directement l'amidon natif dans les configurations classiques. La glucoamylase permet donc de relier la matière première amylacée — maïs, manioc, pomme de terre, patate douce, céréales ou résidus — au métabolisme fermentaire. Des travaux récents ont intégré des gènes d'alpha-amylase et de glucoamylase dans *Saccharomyces cerevisiae* afin de produire du bioéthanol à partir de résidus de patate douce, ce qui souligne l'importance de ces activités enzymatiques dans la conversion directe de substrats riches en amidon ^[7].

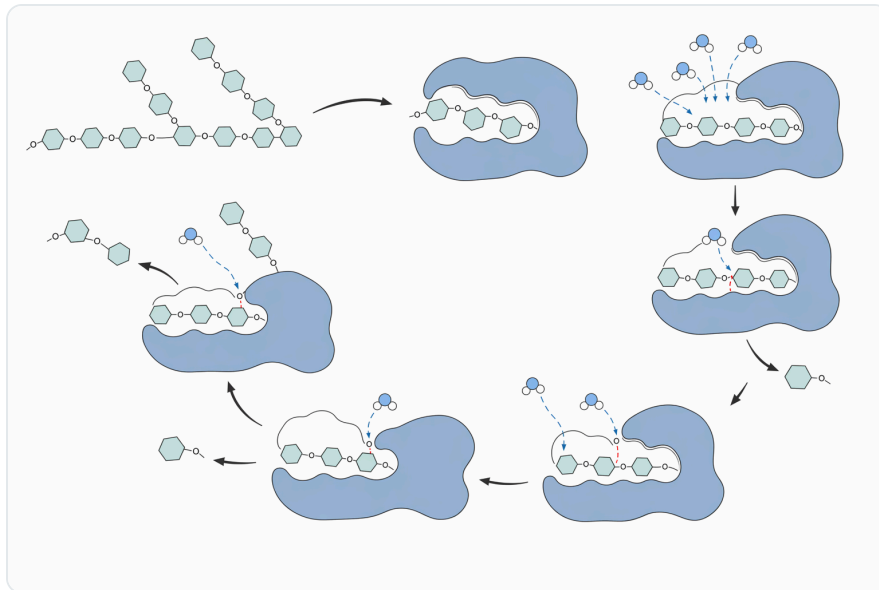


Figure 2. La glucoamylase se fixe sur des chaînes dérivées de l'amidon au niveau de sous-sites définis, hydrolyse une liaison glycosidique terminale, libère du glucose, puis recommence sur les nouvelles extrémités de chaîne exposées.

Les procédés de saccharification et fermentation simultanées sont particulièrement pertinents lorsque la libération progressive du glucose doit être couplée à sa consommation immédiate. Des recherches sur des déchets industriels de pomme de terre ont montré que des co-cultures d'*Aspergillus niger* et de *Saccharomyces cerevisiae* peuvent améliorer la production de bioéthanol lorsque les conditions du milieu sont optimisées [6]. Dans ce type de schéma, les activités amylolytiques libèrent les sucres, tandis que la levure les convertit en éthanol.

Le manioc et ses coproduits illustrent aussi l'intérêt de la glucoamylase dans les pays où cette culture constitue une ressource abondante. Des études sur la bioconversion de déchets solides de manioc, notamment l'ongkok, montrent que la combinaison saccharification-fermentation peut transformer ces résidus en bioéthanol [8]. Pour les industriels, l'enjeu n'est pas seulement de produire un sucre : il s'agit de valoriser une matière première locale ou un flux secondaire à faible valeur initiale.

Sirops de glucose et hydrolysats d'amidon

La glucoamylase est également centrale dans la production de sirops de glucose. Après liquéfaction de l'amidon, elle augmente la proportion de glucose dans l'hydrolysat. La qualité finale dépend de la conversion enzymatique, du profil des sucres restants et de la maîtrise des conditions de procédé. Les glucoamylases fongiques, en particulier celles associées à *Aspergillus niger*, sont depuis longtemps étudiées pour leur intérêt dans la production de glucose et d'autres procédés de fermentation [1].

Dans les hydrolysats destinés à des fermentations ultérieures, le profil des sucres influence directement la performance microbienne. Un hydrolysats riche en dextrines peu fermentescibles peut entraîner une conversion incomplète, tandis qu'un hydrolysats plus riche en glucose facilite l'alimentation du micro-organisme. Des travaux sur la valorisation des déchets alimentaires et de boissons par saccharification confirment l'intérêt de récupérer des sucres à partir de matrices glucidiques pour des usages de bioconversion [9].



Figure 3. L'alpha-amylase, la glucoamylase et les enzymes de débranchement présentent des modes différents de clivage des liaisons, contribuant respectivement à la liquéfaction, à la formation de glucose et à l'élimination des ramifications.

Boissons fermentées, brassage et distillation

Dans le brassage et la distillation, la maîtrise des sucres fermentescibles conditionne le rendement, l'atténuation et le profil final du produit. La glucoamylase peut être utilisée pour pousser plus loin la conversion des dextrines en glucose, en particulier dans des procédés où l'on recherche une fermentation plus complète. Les levures diastatiques de *Saccharomyces cerevisiae*, capables de dégrader certaines dextrines, sont étudiées dans le brassage, la distillation et la production de biocarburants, ce qui montre le lien étroit entre saccharification enzymatique et performance fermentaire [10].

La décision d'utiliser une glucoamylase dépend toutefois du profil produit recherché. Dans certaines boissons, conserver une partie des dextrines contribue au corps ou à la texture ; dans d'autres, une conversion plus complète est souhaitée pour augmenter le rendement fermentaire. La glucoamylase est donc un outil de réglage du profil glucidique autant qu'un moyen de convertir l'amidon en glucose.

Production d'acides organiques et autres métabolites

Le glucose issu de l'amidon ne sert pas uniquement à produire de l'éthanol. Il peut aussi alimenter des fermentations produisant acide citrique, acides aminés, enzymes, solvants ou autres intermédiaires biosourcés. Une étude sur la production d'acide citrique par *Aspergillus niger* à partir de substrats concentrés a examiné une stratégie d'addition par étapes de glucoamylase, illustrant le rôle de l'enzyme dans la gestion de la disponibilité du sucre au cours du procédé [11].

Cette logique est importante pour les bioprocédés à haute concentration de substrat. Trop peu de glucose limite la croissance ou la production ; trop de sucre disponible peut modifier l'osmolarité, la physiologie microbienne ou le profil métabolique. La glucoamylase permet d'organiser la libération du carbone fermentescible à partir d'un réservoir d'amidon ou de dextrans.

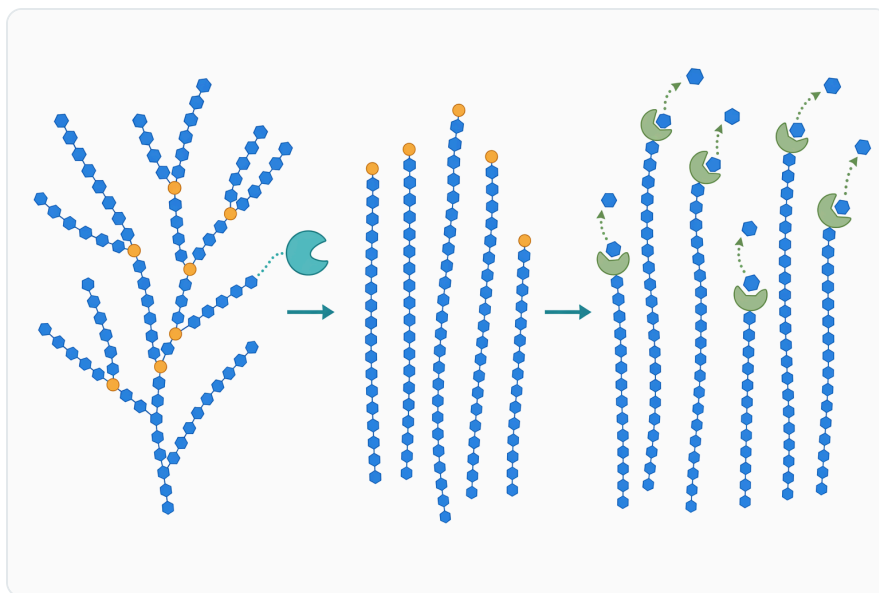


Figure 4. Les points de ramification de l'amylopectine peuvent limiter une saccharification complète, tandis que le débranchement crée des chaînes linéaires plus accessibles pour la libération de glucose.

Valorisation des coproduits agroalimentaires

Les coproduits riches en amidon représentent une source de carbone intéressante pour les bioraffineries. Résidus de pomme de terre, déchets de manioc, sous-produits céréaliers et déchets alimentaires peuvent être hydrolysés pour récupérer des sucres. Les revues sur la valorisation des déchets alimentaires décrivent la conversion biologique de ces flux en produits biosourcés à plus forte valeur, notamment lorsque des enzymes immobilisées ou des systèmes enzymatiques adaptés sont utilisés [12].

Les approches de valorisation ne se limitent pas à la réduction des déchets. Elles visent à transformer une contrainte logistique ou environnementale en matière première fermentescible. Une revue récente sur les technologies de valorisation des déchets alimentaires souligne l'importance des traitements enzymatiques dans la production de produits biosourcés à partir de flux organiques complexes [13].

Paramètres qui influencent la performance en procédé

Accessibilité de l'amidon

La glucoamylase agit plus efficacement lorsque les chaînes glucidiques sont accessibles. La structure du granule, la taille des particules, la gélatinisation, l'extrusion, la liquéfaction et le degré de dommage de l'amidon influencent tous la vitesse de saccharification. Les travaux sur l'injection d'alpha-amylase thermostable dans l'amidon de maïs extrudé montrent que le traitement physique et enzymatique modifie les propriétés du substrat et sa susceptibilité à la saccharification [4].

Dans un procédé industriel, cette accessibilité se traduit par un compromis entre énergie de prétraitement et efficacité enzymatique. Une cuisson plus poussée peut faciliter l'hydrolyse mais augmente les coûts thermiques ; un prétraitement plus doux peut économiser de l'énergie mais nécessiter une enzyme plus adaptée ou un temps de conversion plus long. Les glucoamylases capables de mieux fonctionner sur substrats moins transformés suscitent donc un intérêt particulier dans les schémas de production plus sobres.

pH, température et stabilité enzymatique

Chaque glucoamylase possède un profil propre d'activité et de stabilité. Les enzymes destinées à la saccharification doivent maintenir une activité suffisante dans les conditions du procédé, qui sont souvent dictées par l'étape amont de liquéfaction ou l'étape aval de fermentation. Des travaux sur une glucoamylase acido-thermostable d'*Aspergillus japonicus* montrent l'intérêt de caractériser ces propriétés pour des applications industrielles, y compris hors fermentation, comme le bio-désencrage du papier [14].

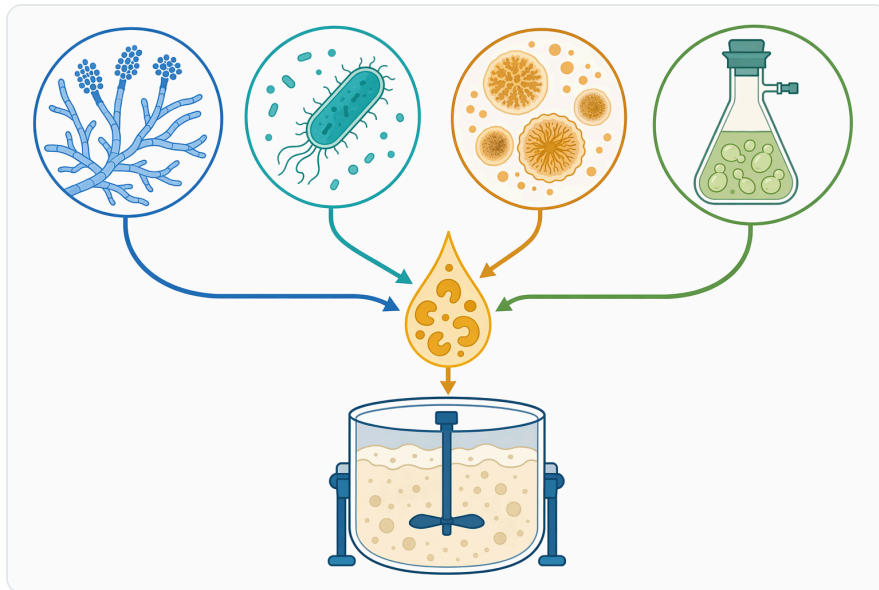


Figure 5. Les glucoamylases fongiques sont bien établies dans la transformation de l'amidon, tandis que les sources bactériennes et les systèmes d'expression recombinante font également l'objet d'études.

La stabilité n'est pas seulement une propriété théorique. Une enzyme qui perd rapidement son activité impose plus de contraintes sur le temps de procédé et peut réduire la conversion finale. À l'inverse, une glucoamylase plus stable permet de maintenir la libération de glucose pendant une fenêtre opérationnelle plus large. Les recherches sur la mutagenèse dirigée de glucoamylases montrent que l'amélioration de la thermostabilité et de l'efficacité catalytique reste un axe important pour les applications de saccharification industrielle [5].

Synergie enzymatique

La saccharification efficace d'un amidon réel dépend souvent de plusieurs activités enzymatiques. Les longues chaînes doivent être fragmentées, les extrémités doivent être converties en glucose, et les ramifications peuvent nécessiter une activité de débranchement. Les effets synergiques de plusieurs enzymes issues d'une souche industrielle d'*Aspergillus niger* ont été étudiés spécifiquement dans le contexte de la saccharification de l'amidon, confirmant que la performance globale ne dépend pas uniquement de la glucoamylase isolée [1].

Cette synergie explique l'intérêt de combiner glucoamylase, alpha-amylase et parfois pullulanase selon le substrat et le produit final. Pour un amidon déjà bien liquéfié et peu limitant, la glucoamylase peut suffire à améliorer la conversion en glucose. Pour un substrat très ramifié ou hétérogène, une activité de débranchement peut améliorer la disponibilité des chaînes linéaires et donc la conversion finale en sucres fermentescibles.

Micro-organismes de fermentation

La glucoamylase doit être compatible avec le micro-organisme et le schéma de fermentation. *Saccharomyces cerevisiae* est largement utilisée pour l'éthanol, mais d'autres organismes comme *Zymomonas mobilis* ont aussi été étudiés pour la production d'éthanol à partir de matières premières amylacées après saccharification appropriée [15]. Le choix du micro-organisme influence la tolérance à l'éthanol, la vitesse de consommation du glucose, la sensibilité aux sous-produits et le profil de fermentation.

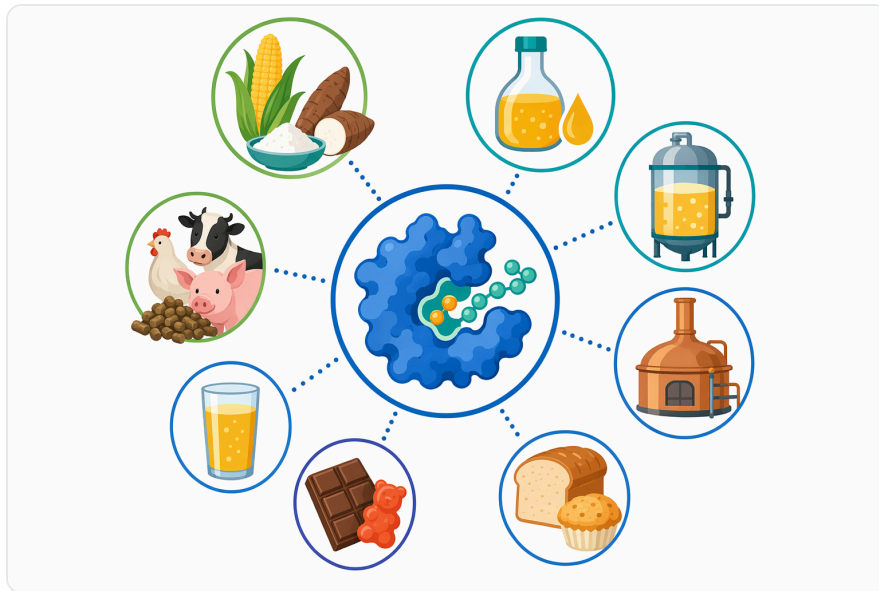


Figure 6. Les hydrolysats riches en glucose produits par la glucoamylase peuvent alimenter la production de sucres d'amidon, la fermentation éthanolique, le brassage et la distillation, la production d'acides organiques ainsi que la modification spécialisée de l'amidon.

Des approches plus intégrées cherchent à construire des souches capables de produire elles-mêmes des enzymes amylolytiques. Des travaux ont par exemple développé des souches industrielles de *Saccharomyces cerevisiae* pour le biotraitement consolidé de l'amidon cru, ce qui illustre l'objectif de réduire la séparation entre hydrolyse enzymatique et fermentation [16]. Pour les procédés qui utilisent une enzyme ajoutée, le même principe reste valable : l'activité de saccharification doit être synchronisée avec la capacité fermentaire.

Amélioration et ingénierie des glucoamylases

La glucoamylase est une enzyme mature industriellement, mais elle continue de faire l'objet d'améliorations. Les axes de recherche incluent l'augmentation de la thermostabilité, l'amélioration de l'efficacité catalytique, la meilleure expression dans des hôtes microbiens et la réduction de la

formation de sucres non fermentescibles. Des travaux de mutagenèse dirigée sur une glucoamylase de *Talaromyces leycettanus* ont précisément visé l'amélioration de la thermostabilité et de l'efficacité catalytique pour renforcer les applications de saccharification [5].

L'expression de la glucoamylase dans des hôtes industriels est un autre sujet important. Des recherches sur l'ingénierie d'un module de liaison aux glucides ont montré qu'il était possible d'augmenter le niveau d'expression d'une glucoamylase dans *Pichia pastoris*, ce qui illustre le rôle des domaines de liaison au substrat et des systèmes d'expression dans la production enzymatique [17]. Ces données ne sont pas des instructions d'utilisation pour l'utilisateur final, mais elles expliquent pourquoi les propriétés des glucoamylases commerciales peuvent varier selon leur origine et leur conception.

Un autre enjeu concerne les sucres non fermentescibles. Dans les procédés à base d'amidon, certaines réactions secondaires ou activités associées peuvent influencer le profil final des sucres. Une étude sur la manipulation d'une alpha-glucosidase dans une souche industrielle productrice de glucoamylase d'*Aspergillus niger* a visé à réduire la formation de sucres non fermentescibles et à augmenter l'activité glucoamylase [18]. Pour les fermentations industrielles, ce point est critique : ce qui n'est pas converti ou fermenté représente une perte potentielle de rendement.

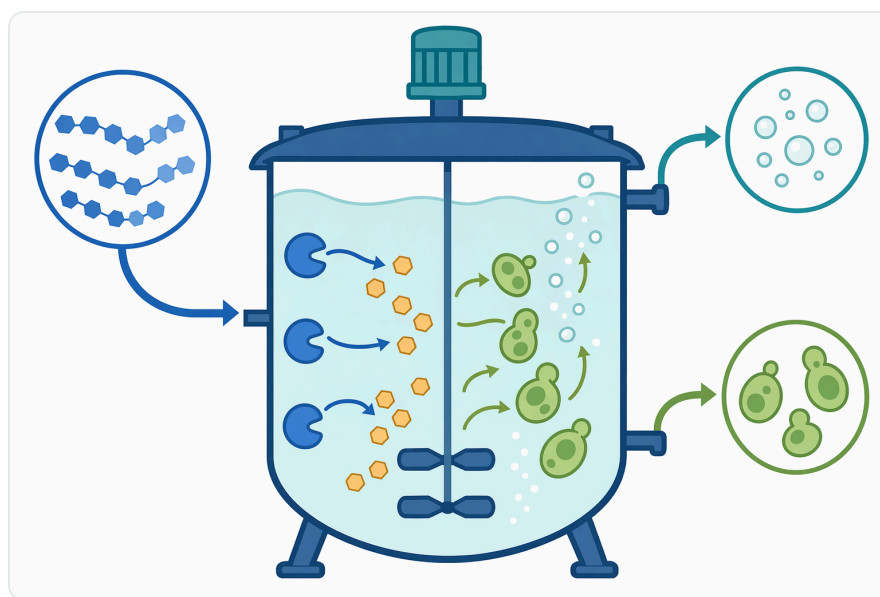


Figure 7. Lors de la saccharification et fermentation simultanées, la libération de glucose par la glucoamylase peut se produire dans le même milieu que celui où les micro-organismes consomment ce sucre.

Les recherches sur l'immobilisation et la stabilisation des enzymes apportent aussi des informations utiles. Des systèmes de type bio-MOF incorporant de la glucoamylase ont été étudiés pour améliorer la stabilité enzymatique, montrant que l'environnement physicochimique de l'enzyme peut modifier sa

robustesse ^[19]. Ces approches concernent surtout des développements technologiques avancés, mais elles confirment l'importance de la stabilité pour les procédés enzymatiques.

Positionnement pour les utilisateurs B2B

Pour un utilisateur industriel, la glucoamylase est avant tout un levier de conversion : elle permet de transformer un polymère abondant mais peu directement fermentescible en glucose assimilable. Elle s'intègre dans des procédés de production d'éthanol, de sirops de glucose, de boissons fermentées, de substrats fermentescibles et de valorisation de coproduits agroalimentaires. Les publications sur les déchets de pomme de terre, de manioc et les flux alimentaires confirment que la saccharification enzymatique est une étape structurante pour convertir des ressources amyliques en produits biosourcés ^{[6] [8] [9]}.

Le produit Glucoamylase proposé par Enzymes.bio s'inscrit dans cette famille d'enzymes de saccharification de l'amidon. Enzymes.bio est un fournisseur en ligne, non un fabricant et non un laboratoire de développement. Le produit est vendu directement par unité de 1 kg ; le certificat d'analyse et la fiche de données de sécurité accompagnent la commande.

Points de vigilance en formulation et en procédé

La performance réelle d'une glucoamylase ne peut pas être déduite uniquement du nom de l'enzyme. Elle dépend du substrat, du degré de préparation de l'amidon, de la présence d'autres enzymes, du temps disponible pour la saccharification, de la compatibilité avec la fermentation et de l'objectif produit. Les procédés de bioéthanol à partir de déchets industriels de pomme de terre montrent par exemple que l'optimisation du milieu et l'association entre organismes saccharifiants et fermentaires peuvent fortement influencer la performance finale ^[6].

Il faut également distinguer l'hydrolyse de l'amidon pur et la conversion d'une matrice réelle. Une farine, un résidu de tubercule ou un déchet agroalimentaire contient aussi protéines, fibres, lipides, minéraux et composés susceptibles de modifier la rhéologie, l'accessibilité enzymatique ou la croissance microbienne. Les revues sur la valorisation des déchets alimentaires insistent sur cette diversité des matrices et sur la nécessité d'adapter les technologies de conversion aux caractéristiques du flux traité ^[13].

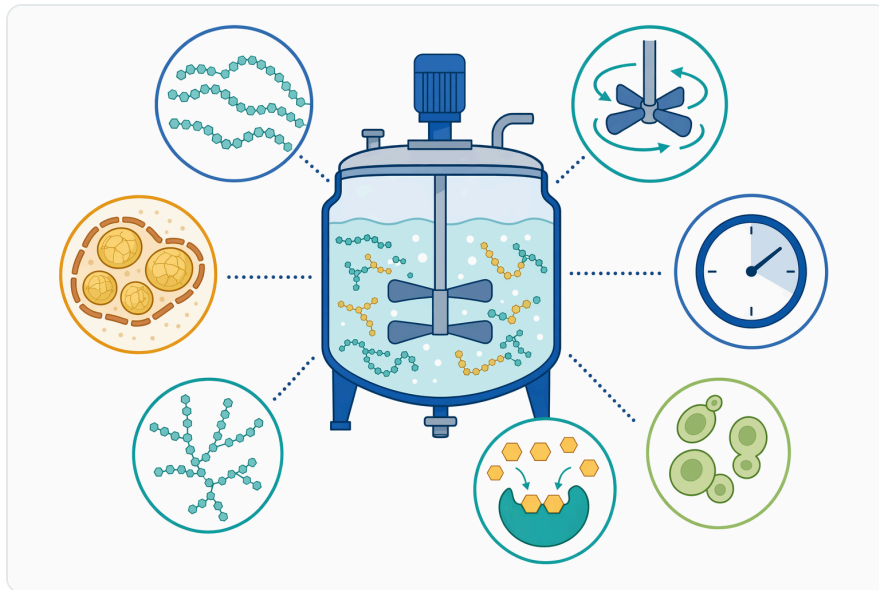


Figure 8. Le résultat de la saccharification dépend de l'accessibilité du substrat, du degré de ramification, du mélange, du temps de séjour, de l'accumulation de glucose et de la compatibilité avec le système de fermentation.

Enfin, la glucoamylase est un outil enzymatique, pas une garantie automatique de rendement. Elle convertit les liaisons glucidiques accessibles dans les conditions qui lui sont favorables ; si l'amidon reste peu accessible, si la viscosité gêne le mélange, si le pH ou la température s'écartent trop du domaine utile, ou si la fermentation consomme mal le glucose libéré, la performance globale peut être limitée. Les études d'ingénierie enzymatique et de synergie entre enzymes montrent que la réussite d'un procédé dépend autant de l'intégration du système que de l'activité d'une enzyme unique ^[5] ^[1].

Conclusion

La glucoamylase est une enzyme clé pour convertir l'amidon liquéfié, les dextrans et les oligosaccharides en glucose. Son intérêt industriel repose sur une fonction simple mais déterminante : rendre le carbone amylacé disponible pour la fermentation, les sirops de glucose et les bioprocédés de valorisation. Les travaux scientifiques disponibles confirment son rôle dans la saccharification de l'amidon, la production de bioéthanol, l'exploitation de coproduits amylacés et l'amélioration de procédés fermentaires ^[7] ^[1] ^[8].

Dans une logique B2B, elle s'adresse aux procédés où l'objectif est d'augmenter la fraction de glucose fermentescible et de mieux utiliser des matières premières riches en amidon. Enzymes.bio fournit la glucoamylase en ligne par unité de 1 kg, avec certificat d'analyse et fiche de données de sécurité fournis avec la commande.

Commander Glucoamylase 200,000 U/G Starch Saccharification Fermentation Saccharification 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 Glucoamylase 200,000 U/G Starch Saccharification Fermentation Saccharification 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. Guo, W., Yang, J., Huang, T., Liu, D., Liu, Q., Li, J., Sun, W., ... et al. (2021). Synergistic effects of multiple enzymes from industrial *Aspergillus niger* strain O1 on starch saccharification. *Biotechnology for Biofuels*, 14.
2. Hii, S., Tan, J., Ling, T., & Ariff, A. (2012). Pullulanase: Role in Starch Hydrolysis and Potential Industrial Applications. *Enzyme Research*, 2012.
3. Kumar, B., & Verma, P. (2020). Enzyme mediated multi-product process: A concept of bio-based refinery. *Industrial Crops and Products*, 154, 112607.
4. Myat, L., & Ryu, G. (2014). Effect of thermostable α -amylase injection on mechanical and physiochemical properties for saccharification of extruded corn starch. *The Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94 2, 288-95 .
5. Tong, L., Zheng, J., Wang, X., Wang, X., Huo-Huang, Yang, H., Tu, T., ... et al. (2021). Improvement of thermostability and catalytic efficiency of glucoamylase from *Talaromyces leycettanus* JCM12802 via site-directed mutagenesis to enhance industrial saccharification applications. *Biotechnology for Biofuels*, 14.
6. Izmirliloglu, G., & Demirci, A. (2016). Improved simultaneous saccharification and fermentation of bioethanol from industrial potato waste with co-cultures of *Aspergillus niger* and *Saccharomyces cerevisiae* by medium optimization. *Fuel*, 185, 684-691.
7. Wang, X., Guo, N., Hu, J., Gou, C., Xie, X., Zheng, H., Liao, A., ... et al. (2024). Construction of an amyolytic *Saccharomyces cerevisiae* strain with high copies of α -amylase and glucoamylase genes integration for bioethanol production from sweet potato residue. *Frontiers in Microbiology*, 15.
8. Soeprijanto, S., Qomariyah, L., Hamzah, A., & Altway, S. (2021). Bioconversion of Industrial Cassava Solid Waste (Onggok) to Bioethanol Using a Saccharification and Fermentation process. *International Journal of Renewable Energy Development*.
9. Kwan, T. H., Ong, K. L., Haque, M. A., Kwan, W. H., Kulkarni, S., & Lin, C. (2018). Valorisation of food and beverage waste via saccharification for sugars recovery. *Bioresource Technology*, 255, 67-75 .

10. Nemenyi, J. L., Cárdenas-Pinto, S., Martin-Ryals, A., Boz, Z., Budner, D., MacIntosh, A., Zhang, B., ... et al. (2024). Applications of diastatic *Saccharomyces cerevisiae* in brewing, distilling and biofuel production. *Journal of the Institute of Brewing*.
11. Wang, B., Li, H., Zhu, L., Tan, F., Li, Y., Zhang, L., Ding, Z., ... et al. (2017). High-efficient production of citric acid by *Aspergillus niger* from high concentration of substrate based on the staged-addition glucoamylase strategy. *Bioprocess and biosystems engineering (Print)*, 40, 891-899.
12. Bilal, M., & Iqbal, H. M. (2019). Sustainable bioconversion of food waste into high-value products by immobilized enzymes to meet bio-economy challenges and opportunities - A review. *Food Research International*, 123, 226-240 .
13. Ansari, S. A., Kumar, T., Sawarkar, R., Gobade, M., Khan, D., & Singh, L. (2024). Valorization of food waste: A comprehensive review of individual technologies for producing bio-based products. *Journal of Environmental Management*, 364, 121439 .
14. Pasin, T., Betini, J. A., Lucas, R. C., & Polizeli, M. (2023). Biochemical characterization of an acid-thermostable glucoamylase from *Aspergillus japonicus* with potential application in the paper bio-deinking. *Biotechnology progress (Print)*, 40.
15. Gi-Choi, Hyun-Kang, Kim, Y., & Chung, B. (2008). Ethanol production by *Zymomonas mobilis* CHZ2501 from industrial starch feedstocks. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 13, 765-771.
16. Cripwell, R. A., Rose, S., Favaro, L., & Zyl, W. V. (2019). Construction of industrial *Saccharomyces cerevisiae* strains for the efficient consolidated bioprocessing of raw starch. *Biotechnology for Biofuels*, 12.
17. Tong, L., Huo-Huang, Zheng, J., Wang, X., Bai, Y., Wang, X., Wang, Y., ... et al. (2022). Engineering a carbohydrate-binding module to increase the expression level of glucoamylase in *Pichia pastoris*. *Microbial Cell Factories*, 21.
18. Guo, W., Liu, D., Li, J., Sun, W., Sun, T., Wang, X., Wang, K., ... et al. (2022). Manipulation of an α -glucosidase in the industrial glucoamylase-producing *Aspergillus niger* strain O1 to decrease non-fermentable sugars production and increase glucoamylase activity. *Frontiers in Microbiology*, 13.
19. Vaidya, L., Nadar, S. S., & Rathod, V. (2020). Biological metal organic framework (bio-MOF) of glucoamylase with enhanced stability. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 193, 111052 .

Contacteur 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.