

Alpha-amylase thermostable pour hydrolyse de l'amidon, liquéfaction et production d'éthanol

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

Réponse directe — L'alpha-amylase thermostable est utilisée dans l'industrie de l'éthanol pour liquéfier les amidons de maïs, manioc, patate douce, céréales ou résidus amylicés avant la saccharification. Elle coupe les liaisons internes de l'amidon, réduit la viscosité des moûts et génère des dextrans plus accessibles à la glucoamylase, qui poursuit la conversion vers le glucose fermentescible ^[1]. Dans un procédé bioéthanol, elle ne produit pas l'alcool directement : elle prépare le substrat pour une fermentation plus régulière.

Enzymes.bio fournit cette enzyme en ligne par unité de 1 kg, avec certificat d'analyse et fiche de données de sécurité fournis avec la commande. Enzymes.bio agit comme fournisseur B2B en ligne, et non comme fabricant ni laboratoire.

Rôle technique de l'alpha-amylase thermostable dans l'éthanol à base d'amidon

L'alpha-amylase thermostable est une enzyme de liquéfaction destinée aux procédés où l'amidon doit être transformé en sucres fermentescibles. Dans les filières d'éthanol de première génération, l'amidon provient typiquement de matières premières telles que le maïs, le blé, le manioc, la patate douce ou certains coproduits riches en amidon. L'enzyme intervient en amont de la fermentation : elle fragmente les macromolécules d'amidon en dextrans et oligosaccharides, ce qui diminue la viscosité du milieu et prépare l'action d'enzymes de saccharification, en particulier la glucoamylase ^[1].

Le qualificatif **thermostable** est important, car l'amidon devient beaucoup plus accessible après chauffage et gélatinisation. Dans une pâte d'amidon, les granules natifs sont partiellement protégés par leur organisation cristalline ; la chaleur hydrate, gonfle et désorganise cette structure. Une alpha-amylase capable de rester fonctionnelle dans ces conditions permet de coupler l'ouverture physique du granule et la coupure enzymatique des chaînes glucidiques, ce qui est essentiel dans les opérations de liquéfaction industrielle ^[2].

Dans le langage de procédé, la liquéfaction ne doit pas être confondue avec la saccharification complète. La liquéfaction vise surtout à réduire la masse moléculaire apparente de l'amidon et la viscosité du moût ; la saccharification convertit ensuite les dextrines en glucose fermentescible. Les travaux sur les enzymes de conversion de l'amidon décrivent clairement cette complémentarité : les alpha-amylases appartiennent à une famille d'enzymes spécialisées dans la coupure des polysaccharides amylicés, tandis que d'autres enzymes amylolytiques poursuivent la conversion selon leurs modes d'action propres [1].

Mécanisme enzymatique : de l'amidon gélatinisé aux dextrines fermentescibles

L'amidon est constitué principalement de deux polymères de glucose : l'amylose, plutôt linéaire, et l'amylopectine, très ramifiée. L'alpha-amylase agit comme une endo-enzyme : elle hydrolyse des liaisons internes α -1,4-glycosidiques au sein des chaînes d'amidon, au lieu de retirer uniquement des unités terminales. Cette coupure interne explique la baisse rapide de viscosité observée lors de la liquéfaction, car quelques ruptures bien placées suffisent à réduire fortement la longueur moyenne des chaînes [1].

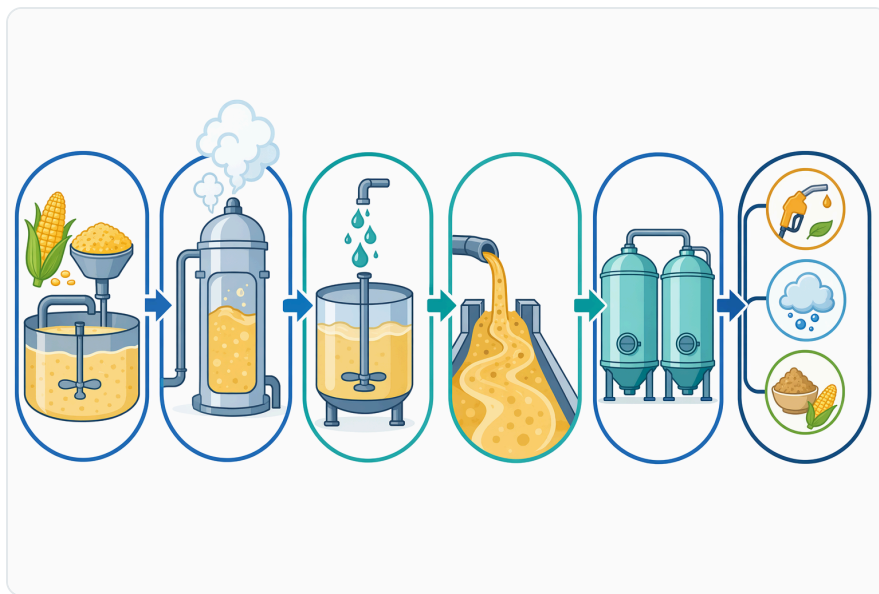


Figure 1. 내열성 알파-아밀레이스는 당화와 효모 발효 전에 조리된 전분을 액화하여 전분을 에탄올로 전환하는 공정의 초기 단계에 사용된다.

La thermostabilité de l'enzyme permet de travailler dans la fenêtre où l'amidon est physiquement accessible. Sans chauffage, une partie de l'amidon natif peut rester difficile à attaquer, selon l'origine botanique, la taille des granules et la proportion amylose/amylopectine. Plusieurs études sur des

alpha-amylases thermostables isolées de microorganismes thermophiles ou de souches de *Bacillus* soulignent l'intérêt industriel de cette stabilité lorsque les opérations nécessitent des températures élevées, des temps de contact prolongés ou des matrices épaisses [3].

La séquence technique peut être résumée ainsi : dispersion de la matière amylacée dans l'eau, chauffage pour favoriser la gélatinisation, addition d'alpha-amylase thermostable pendant la phase de liquéfaction, puis ajustement du procédé pour la saccharification par glucoamylase ou enzymes équivalentes. Cette logique est cohérente avec les schémas de bioéthanol dans lesquels l'hydrolyse enzymatique libère les sucres qui seront ensuite fermentés par des microorganismes tels que *Saccharomyces cerevisiae* [4].

Pourquoi la thermostabilité change le comportement du procédé

La liquéfaction de l'amidon est une étape thermomécanique autant qu'enzymatique. Lorsque la concentration en solides est élevée, la pâte d'amidon peut devenir très visqueuse pendant la cuisson ; cela limite le mélange, le transfert de chaleur et l'homogénéité de l'hydrolyse. Une alpha-amylase thermostable accélère la rupture des chaînes dès que l'amidon est accessible, ce qui contribue à fluidifier le milieu et à rendre le procédé plus contrôlable [2].

Les études de caractérisation d'alpha-amylases thermostables montrent que les enzymes utilisables à haute température intéressent plusieurs industries, dont celles qui transforment l'amidon, parce qu'elles conservent une activité utile dans des conditions où des enzymes mésophiles perdraient rapidement leur efficacité. Des travaux sur des alpha-amylases issues de sources thermophiles, bactériennes ou recombinantes mettent en avant cette stabilité comme critère de pertinence industrielle, notamment pour les opérations de liquéfaction et de traitement de substrats amylacés [5].

Dans la production d'éthanol, cette propriété a un effet indirect mais important : elle aide à stabiliser l'étape qui précède la formation du glucose. Si l'amidon n'est pas correctement liquéfié, la glucoamylase reçoit un substrat plus hétérogène, parfois trop visqueux ou insuffisamment fragmenté. À l'inverse, une liquéfaction homogène fournit des dextrines plus régulières et améliore la continuité entre cuisson, saccharification et fermentation [1].

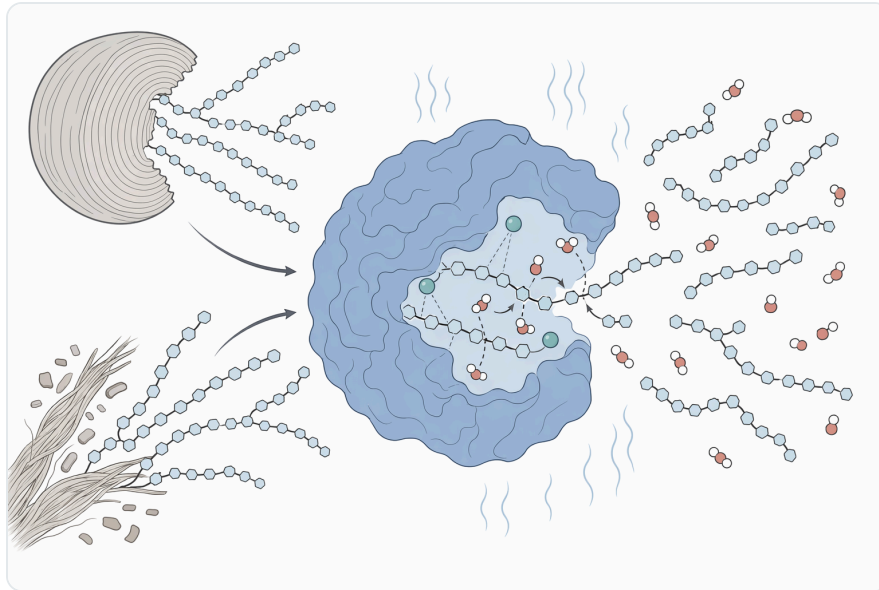


Figure 2. 알파-아밀레이스는 아밀로스 및 아밀로펙틴의 내부 α -1,4 결합을 절단하여 더 짧은 덱스트린과 말토올리고당을 만드는 엔도형 효소이다.

Place de l'alpha-amylase dans une chaîne bioéthanol

L'alpha-amylase thermostable est souvent décrite comme l'enzyme de la première conversion de l'amidon. Elle n'est pas responsable de toute la production de glucose : son rôle principal est d'ouvrir et de raccourcir les chaînes. La glucoamylase prend ensuite le relais pour libérer du glucose à partir des extrémités non réductrices des dextrines. Cette division du travail enzymatique est une base classique des procédés amylicés, et elle explique pourquoi les performances globales dépendent du couple liquéfaction-saccharification plutôt que d'une enzyme isolée [1].

La fermentation vient après cette conversion des glucides. Les levures ou autres microorganismes fermentaires ne consomment efficacement que des sucres suffisamment simples, principalement le glucose dans les procédés standards à base d'amidon. L'hydrolyse enzymatique est donc une étape de préparation biochimique : elle transforme une réserve végétale insoluble ou semi-gélifiée en sucres fermentescibles utilisables pour la production d'éthanol [4].

La littérature récente sur le bioéthanol à partir de substrats amylicés confirme ce schéma général. Par exemple, des travaux sur les résidus de patate douce après gélatinisation étudient l'hydrolyse enzymatique comme étape préalable à la production de bioéthanol par *Saccharomyces cerevisiae*, montrant que les résidus riches en amidon peuvent être valorisés lorsque la conversion enzymatique rend les sucres disponibles [6].

Tableau comparatif : rôle des enzymes et opérations autour de l'amidon

Étape du procédé	Objectif principal	Rôle de l'alpha-amylase thermostable	Limite de cette étape
Préparation du substrat amylicé	Disperser la farine, l'amidon ou le résidu dans l'eau	Pas encore l'étape enzymatique principale ; la qualité du mélange conditionne l'accès à l'amidon	Une dispersion hétérogène crée des zones mal hydrolysées
Chauffage / gélatinisation	Gonfler et désorganiser les granules d'amidon	La thermostabilité permet une action pendant ou après l'ouverture thermique de l'amidon	Sans hydrolyse suffisante, la viscosité peut devenir élevée
Liquéfaction	Réduire la viscosité et fragmenter l'amidon	Coupage interne des chaînes α -1,4, formation de dextrines et oligosaccharides ^[1]	Ne convertit pas seule tout l'amidon en glucose
Saccharification	Produire des sucres fermentescibles	Fournit à la glucoamylase un substrat plus accessible	Dépend de l'état des dextrines, du pH, de la température et du temps
Fermentation	Transformer les sucres en éthanol	Contribution indirecte par la préparation du glucose	Dépend des microorganismes, des inhibiteurs et de la composition du moût
Résidus et coproduits	Valoriser ou traiter la fraction non fermentée	Utile seulement si une fraction amylicée reste présente	Ne remplace pas les enzymes cellulolytiques ou pectinolytiques

Ce tableau illustre un point essentiel : l'alpha-amylase thermostable n'est pas une enzyme "universelle" pour toutes les biomasses. Elle est particulièrement pertinente lorsque la fraction glucidique dominante est l'amidon. Dans les biomasses lignocellulosiques, la libération des sucres dépend plutôt du prétraitement de la cellulose, de l'hémicellulose et de la lignine, comme le rappellent les revues sur les prétraitements destinés à améliorer la production de bioéthanol ^[4].

Matières premières concernées : maïs, manioc, patate douce, céréales et résidus amylicés

Le maïs et les autres céréales riches en amidon sont des substrats classiques pour l'éthanol industriel. Leur intérêt vient de la forte proportion de glucides stockés sous forme d'amidon, mais cette forme polymérique doit être convertie avant fermentation. L'alpha-amylase thermostable contribue à cette

conversion en abaissant la viscosité des suspensions de farine ou d'amidon cuit, ce qui facilite la saccharification ultérieure [1].

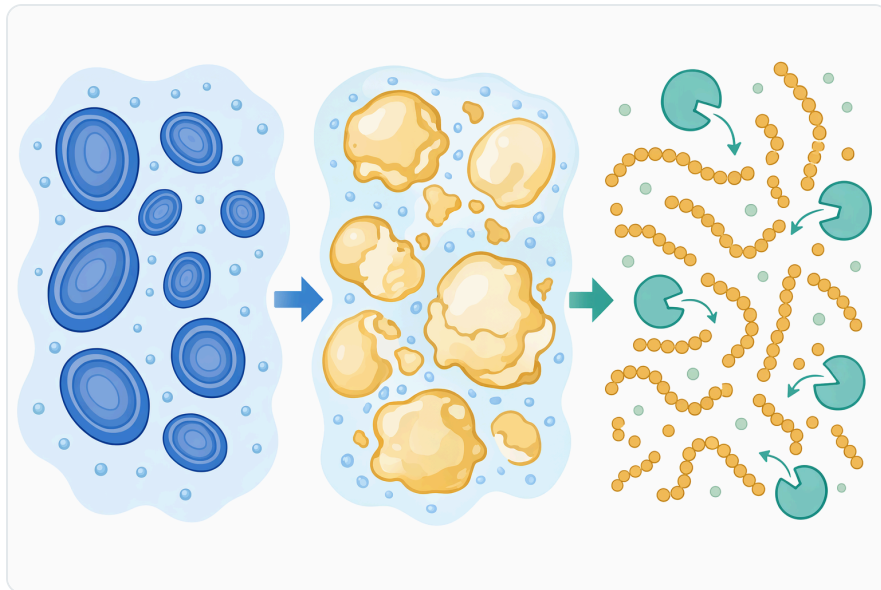


Figure 3. 전분을 물과 함께 가열하면 과립 구조가 붕괴되어 전분 사슬이 알파-아밀레이스에 더 쉽게 노출된다.

Le manioc et les tubercules riches en amidon suivent une logique similaire. Ils peuvent fournir un substrat abondant, mais leur transformation en bioéthanol nécessite une étape d'hydrolyse adaptée. Les travaux sur la production d'éthanol à partir de biomasses amylicées ou assimilées montrent que la disponibilité des sucres après hydrolyse est déterminante pour la fermentation, quelle que soit l'origine botanique du substrat [4].

Les résidus de patate douce constituent un exemple parlant de valorisation de flux amylicés. Une étude sur l'hydrolyse enzymatique après gélatinisation de résidus de patate douce a évalué leur conversion en bioéthanol avec *Saccharomyces cerevisiae*, montrant l'intérêt de coupler la préparation thermique de l'amidon et l'hydrolyse enzymatique avant fermentation [6].

Certaines microalgues peuvent également contenir des glucides convertibles après hydrolyse. Des travaux sur *Chlorella pyrenoidosa* ont utilisé une méthode combinant hydrolyse enzymatique et fermentation pour produire du bioéthanol, ce qui illustre que la logique "libération enzymatique des sucres puis fermentation" dépasse les seules céréales, même si le choix enzymatique dépend toujours de la composition précise de la biomasse [7].

Ce que l'enzyme apporte concrètement au procédé

Le premier effet attendu est la **réduction de la viscosité**. Pendant la cuisson de l'amidon, la pâte peut devenir difficile à pomper et à agiter. En coupant les longues chaînes d'amylose et d'amylopectine, l'alpha-amylase réduit rapidement la taille moyenne des polymères, ce qui diminue la résistance à l'écoulement. Cette fluidification améliore les transferts de chaleur et de matière, deux paramètres critiques dans les moûts concentrés ^[1].

Le deuxième effet est la **préparation du substrat pour la glucoamylase**. Les longues chaînes d'amidon ne sont pas le substrat le plus favorable pour une saccharification rapide et complète. Les dextrines issues de la liquéfaction offrent davantage de points d'attaque et une meilleure accessibilité. La coopération entre enzymes amylolytiques est ainsi au cœur des procédés d'hydrolyse de l'amidon, comme le montrent les analyses de la famille des enzymes de conversion de l'amidon ^[1].



Figure 4. 알파-아밀레이스, 글루코아밀레이스, 효모는 각각 액화, 포도당 방출, 에탄올 발효라는 서로 다른 역할을 수행한다.

Le troisième effet est la **stabilisation du profil de sucres en amont de la fermentation**. Une liquéfaction hétérogène peut laisser des fractions d'amidon peu converties, générer des variations de viscosité ou retarder la saccharification. À l'échelle industrielle, ces variations peuvent se traduire par des fermentations moins prévisibles. Les revues sur la production de bioéthanol soulignent que la qualité du prétraitement et de l'hydrolyse conditionne la libération des sucres fermentescibles disponibles pour l'étape finale ^[4].

Différence entre alpha-amylase thermostable, alpha-amylase mésophile et enzymes “raw starch”

Toutes les alpha-amylases ne se comportent pas de la même manière. Une alpha-amylase mésophile peut être active à des températures modérées, mais perdre son efficacité dans les étapes chaudes. Une alpha-amylase thermostable est sélectionnée pour maintenir une activité utile lorsque le procédé implique chauffage, cuisson ou liquéfaction à température élevée. Cette différence explique son intérêt dans les procédés industriels de l’amidon, où l’accessibilité du substrat est fortement liée au traitement thermique ^[2].

Certaines alpha-amylases sont aussi décrites comme capables d’hydrolyser l’amidon cru, c’est-à-dire sans gélatinisation complète. Des travaux sur une alpha-amylase de *Bacillus licheniformis* AT70 ont étudié une enzyme thermostable, activée par le calcium et capable d’hydrolyser l’amidon cru, produite par fermentation en milieu solide à partir de déchets agricoles ^[8]. Ces propriétés sont intéressantes scientifiquement, mais elles ne doivent pas être généralisées à toutes les alpha-amylases thermostables : la capacité à agir sur l’amidon cru dépend fortement de la structure de l’enzyme et du substrat.

La présence ou l’effet du calcium est également variable selon les enzymes. Certaines alpha-amylases sont stabilisées ou activées par des ions calcium, tandis que d’autres présentent des profils différents. Les études de caractérisation enzymatique rapportent souvent cette dépendance comme un paramètre de stabilité ou d’activité, mais les conditions pratiques doivent être interprétées à partir de la documentation du produit concerné plutôt qu’extrapolées d’une souche à une autre ^[8].

Points de contrôle de procédé sans valeurs universelles

Les performances d’une alpha-amylase thermostable dépendent fortement du substrat et de l’intégration dans le procédé. Les paramètres déterminants sont la nature de l’amidon, la concentration en solides, la qualité du mélange, le profil de chauffage, le pH, le temps de contact et la transition vers la saccharification. Il n’existe pas de réglage universel qui convienne à tous les moûts, car un amidon de maïs, un résidu de patate douce et une biomasse microalgale ne présentent pas la même structure ni la même accessibilité ^[6].



Figure 5. 내열성 알파-아밀레이스는 에탄올 생산을 위한 액화, 전분 시럽, 양조 보조원료, 섬유 호발 제거 등 다양한 전분 원료와 관련 용도에 활용된다.

La gélatinisation est un exemple de variable dépendante du substrat. Selon l'origine botanique, les granules d'amidon ne s'ouvrent pas de la même manière. Si la gélatinisation est insuffisante, l'enzyme peut rencontrer un substrat partiellement inaccessible ; si le traitement thermique est excessif ou mal synchronisé avec l'ajout enzymatique, le procédé peut perdre en efficacité. Les études sur les alpha-amylases thermostables insistent donc sur la compatibilité entre propriétés enzymatiques et conditions de transformation ^[5].

La concentration en solides influence aussi la dynamique de liquéfaction. À forte charge, une baisse de viscosité peut améliorer rapidement l'agitation, mais l'homogénéité initiale est plus difficile à obtenir. À plus faible charge, le mélange est plus facile, mais la productivité volumique du procédé peut être différente. Ces arbitrages relèvent de la conception globale de la ligne de production et non de l'enzyme seule ^[4].

Applications au-delà de l'éthanol : transformation de l'amidon et industries connexes

Même si le présent document se concentre sur l'industrie de l'éthanol, les alpha-amylases thermostables sont étudiées pour plusieurs applications de transformation de l'amidon. Elles sont utilisées ou évaluées dans des domaines où la dégradation contrôlée de l'amidon modifie la viscosité, la texture ou la disponibilité des glucides. La revue sur les enzymes de conversion de l'amidon décrit une large famille d'enzymes employées dans des industries alimentaires, amidonnières et biotechnologiques ^[1].

Dans le textile, par exemple, l'alpha-amylase peut être utilisée pour le désencollage, car l'amidon sert souvent d'agent d'encollage des fils. Une étude pilote sur une alpha-amylase hautement thermostable issue de *Thermotoga petrophila*, exprimée dans *E. coli*, a examiné son application comme agent de désencollage textile ^[9]. Cette application n'est pas identique à l'éthanol, mais elle confirme l'intérêt industriel des alpha-amylases thermostables lorsque l'amidon doit être éliminé ou fragmenté dans des conditions robustes.

Dans l'alimentation, des travaux ont étudié l'effet d'alpha-amylases sur les propriétés de produits céréaliers ou sans gluten. Ces applications reposent sur la même base biochimique — hydrolyser l'amidon — mais recherchent des effets différents : texture, volume, digestibilité ou propriétés technologiques. Elles ne doivent pas être confondues avec la liquéfaction pour fermentation, où l'objectif est la libération de sucres fermentescibles et la maîtrise de la viscosité du moût ^[10].

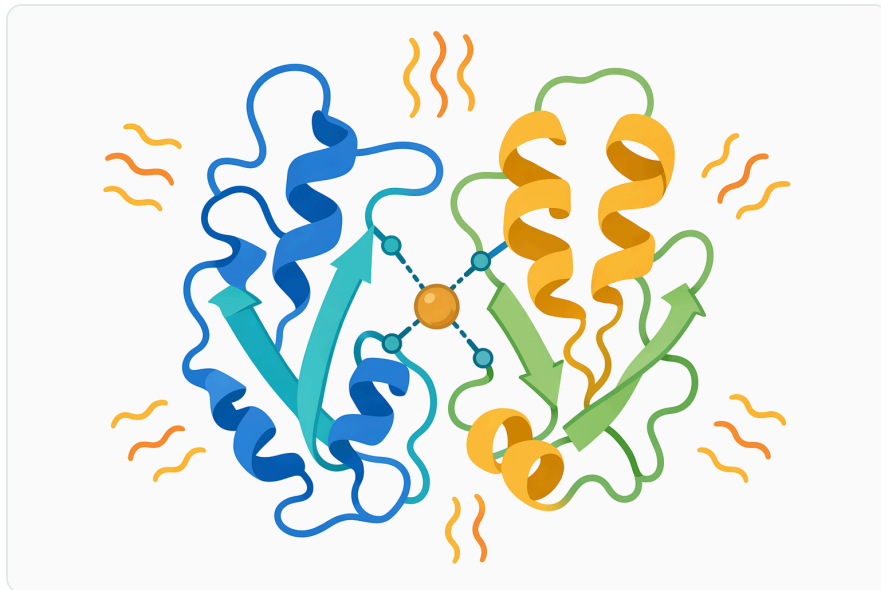


Figure 6. 칼슘 결합은 일부 알파-아밀레이스 구조를 안정화하고 열 스트레스 조건에서 활성을 유지하는 데 도움을 줄 수 있다.

Limites : quand l'alpha-amylase thermostable n'est pas l'enzyme principale

Une alpha-amylase thermostable est pertinente lorsque l'amidon est une fraction majeure du substrat. Elle ne remplace pas une cellulase pour hydrolyser la cellulose, une xylanase pour l'hémicellulose ou une pectinase pour les matrices riches en pectines. Dans les biomasses lignocellulosiques, le verrou principal est souvent l'accessibilité de la cellulose emprisonnée dans une matrice lignine-hémicellulose, ce qui nécessite des prétraitements spécifiques et des cocktails enzymatiques adaptés ^[4].

Cette distinction est essentielle pour les résidus agricoles ou alimentaires mixtes. Un flux contenant du pain, des pâtes, des tubercules ou des céréales transformées peut présenter une fraction amylacée significative ; l'alpha-amylase y a alors un rôle logique. À l'inverse, une paille, une bagasse ou un résidu boisé pauvre en amidon ne sera pas converti efficacement par une alpha-amylase seule. L'analyse de la composition du substrat reste donc déterminante pour sélectionner la stratégie enzymatique ^[4].

La saccharification complète n'est pas non plus assurée par l'alpha-amylase seule. Les produits de liquéfaction sont surtout des dextrines, des oligosaccharides et des fragments de chaînes. Pour maximiser la disponibilité du glucose, une glucoamylase ou une combinaison enzymatique appropriée est généralement nécessaire. Cette complémentarité est l'un des principes centraux de la conversion enzymatique de l'amidon ^[1].

Pertinence pour une utilisation B2B avec Enzymes.bio

Pour un utilisateur professionnel travaillant sur l'éthanol à base d'amidon, l'intérêt d'une alpha-amylase thermostable est d'intégrer une enzyme de liquéfaction dans une séquence déjà bien connue : préparation du substrat, gélatinisation, liquéfaction, saccharification puis fermentation. Le produit Thermostable Alpha-Amylase Enzyme Liquid for Starch Hydrolysis Processing est présenté par Enzymes.bio comme une enzyme destinée au traitement et à l'hydrolyse de l'amidon .

Enzymes.bio fournit le produit 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 aux utilisateurs de disposer des documents associés au lot acheté. Cette présentation convient à un usage B2B documenté, sans assimiler Enzymes.bio à un fabricant d'enzymes ou à un laboratoire d'analyse.

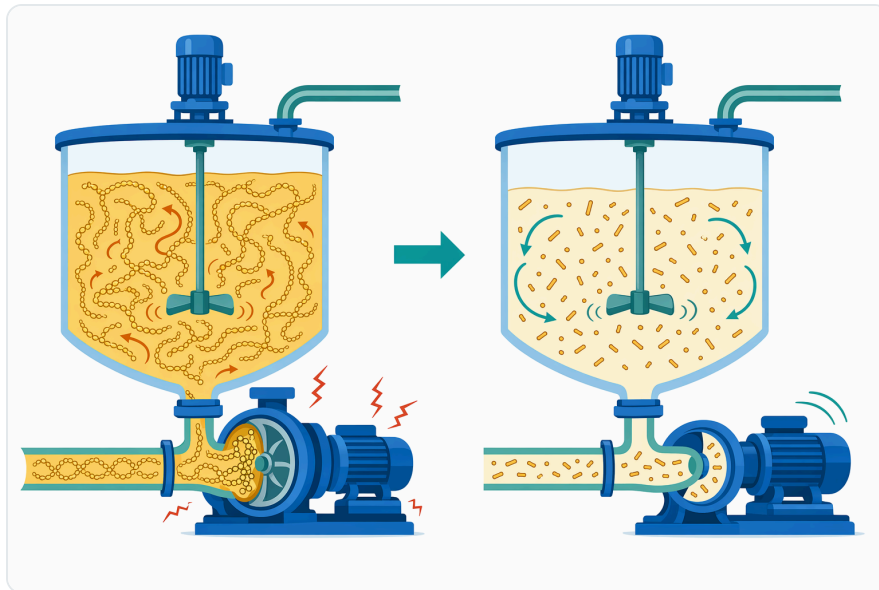


Figure 7. 긴 전분 사슬을 절단하면 슬러리의 점도가 낮아져 혼합, 펌핑, 열 전달이 개선된다.

Dans une logique industrielle, l'enzyme doit être considérée comme un composant de procédé. Son efficacité réelle dépendra de la matière première, de la configuration thermique, de la conduite de la liquéfaction, de l'étape de saccharification et de la souche fermentaire. Les données scientifiques disponibles soutiennent fortement le rôle des alpha-amylases dans la transformation de l'amidon, mais les performances finales de production d'éthanol restent celles d'un système complet ^[4].

Synthèse technique

L'alpha-amylase thermostable est une enzyme clé pour les procédés d'éthanol utilisant des matières premières riches en amidon. Elle intervient principalement pendant la liquéfaction, où elle hydrolyse les liaisons internes de l'amidon, réduit la viscosité et produit des dextrans. Cette action rend le moût plus facile à mélanger, plus homogène et mieux préparé pour la saccharification par glucoamylase ^[1].

Sa valeur industrielle vient de sa compatibilité avec les étapes chaudes de transformation de l'amidon. La gélatinisation rend les granules plus accessibles, tandis que la thermostabilité permet à l'enzyme de rester utile dans cette zone de procédé. Les études sur les alpha-amylases thermostables, qu'elles proviennent de *Bacillus*, de microorganismes thermophiles ou d'autres sources, confirment l'intérêt de ces enzymes pour les applications où l'amidon doit être liquéfié dans des conditions robustes ^[2].

Pour la production de bioéthanol, l'enzyme doit être utilisée dans une approche intégrée : elle ne remplace ni la glucoamylase, ni la fermentation, ni le prétraitement adapté aux biomasses complexes. Elle constitue cependant une étape centrale lorsque le substrat est amylicé, qu'il s'agisse de céréales, de tubercules ou de résidus riches en amidon. Enzymes.bio met cette alpha-amylase thermostable à

disposition en ligne par unité de 1 kg, avec les documents de commande associés, pour les utilisateurs professionnels qui souhaitent intégrer une enzyme de liquéfaction dans leurs procédés d'hydrolyse de l'amidon.

Commander Thermostable Alpha-Amylase For Starch Hydrolysis In Ethanol Industry 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 Thermostable Alpha-Amylase For Starch Hydrolysis In Ethanol Industry →](#)

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. Maarel, M. V. D., Veen, B. A., Uitdehaag, J., Leemhuis, H., & Dijkhuizen, L. (2002). Properties and applications of starch-converting enzymes of the alpha-amylase family. *Journal of Biotechnology*, 94 2, 137-55 .
2. George, R., & George, J. J. (2020). Thermostable Alpha-Amylase and Its Activity, Stability and Industrial Relevance Studies. *Social Science Research Network*.
3. Asoodeh, A., Chamani, J., & Lagzian, M. (2010). A novel thermostable, acidophilic alpha-amylase from a new thermophilic "Bacillus sp. Ferdowsicus" isolated from Ferdows hot mineral spring in Iran: Purification and biochemical characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 46 3, 289-97 .
4. Ezea, I., & Mbaekwe, C. K. (2026). Substrate Pretreatment for Efficient Bio-ethanol Production: A Review. *Journal of Advances in Microbiology*.
5. Timilsina, P. M., Pandey, G., Shrestha, A., Ojha, M., & Karki, T. (2020). Purification and characterization of a noble thermostable algal starch liquefying alpha-amylase from Aeribacillus pallidus BTPS-2 isolated from geothermal spring of Nepal. *Biotechnology Reports*, 28.
6. Gou, C., Wang, X., Yu, Y., Huang, J., Wang, X., & Hui, M. (2023). One-step enzymatic hydrolysis of sweet potato residue after gelatinization for bioethanol production by Saccharomyces cerevisiae. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-10.
7. Yerizam, M., Jannah, A., & Aprianti, N. (2023). Bioethanol Production from Chlorella Pyrenoidosa by Using Enzymatic Hydrolysis and Fermentation Method. *Journal of Ecological Engineering*.
8. Afrisham, S., Badoei-dalfard, A., Namaki-Shoushtari, A., & Karami, Z. (2016). Characterization of a thermostable, CaCl₂-activated and raw-starch hydrolyzing alpha-amylase from Bacillus licheniformis AT70: Production under solid state fermentation by utilizing agricultural wastes. *Journal of Molecular Catalysis B-enzymatic*, 132, 98-106.

9. Zafar, A., Aftab, M., Iqbal, I., Din, Z., & Saleem, M. (2019). Pilot-scale production of a highly thermostable α -amylase enzyme from *Thermotoga petrophila* cloned into *E. coli* and its application as a desizer in textile industry. *RSC Advances*, 9, 984 - 992.
10. Freire, B., Prinyawiwatkul, W., Negrete, A. M., Golub, E. T., & King, J. M. (2025). Development of Gluten-Free Bread With High-Protein Rice Flour and Effects of Alpha-Amylase Enzyme on Bread Properties. *Journal of Food Science*, 90 12, e70733 .

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.