

Alpha-amylase haute température pour liquéfaction de l'amidon en alcool, brassage et transformation céréalière

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

L'alpha-amylase haute température est une enzyme de liquéfaction qui hydrolyse les liaisons internes de l'amidon gélatinisé afin de réduire rapidement la viscosité des bouillies céréalières ou amylacées. Dans les procédés d'alcool et de brassage, elle prépare le substrat à la saccharification ou à la fermentation en produisant des dextrans, maltodextrines et maltooligosaccharides plus facilement transformables. Enzymes.bio propose ce produit en ligne en unité de 1 kg ; le certificat d'analyse et la fiche de données de sécurité sont fournis avec la commande .

Rôle de l'alpha-amylase haute température dans la liquéfaction de l'amidon

L'**alpha-amylase haute température pour alcool & brewing starch liquefaction** est destinée à l'étape où une matière première riche en amidon — céréales, farines, tubercules amylacés ou fractions amidonnées — est chauffée en présence d'eau, puis fluidifiée par hydrolyse enzymatique. La page produit Enzymes.bio rattache explicitement cette enzyme à la catégorie des alpha-amylases et à l'usage « Alcohol & Brewing Starch Liquefaction », ce qui correspond à une application de liquéfaction amylacée en amont des étapes de conversion ou de fermentation .

Sur le plan biochimique, une alpha-amylase est une endo-enzyme : elle coupe des liaisons α -1,4-glycosidiques à l'intérieur des chaînes d'amidon, plutôt que d'enlever progressivement des unités de glucose depuis les extrémités. Cette action raccourcit rapidement l'amylose et les segments linéaires de l'amylopectine, ce qui entraîne une baisse de masse moléculaire moyenne et donc une diminution de viscosité du milieu ^[1].

La mention « haute température » est déterminante dans les procédés industriels, car l'amidon natif devient beaucoup plus accessible après chauffage, hydratation et gélatinisation. Les recherches sur les alpha-amylases thermostables et hyperthermophiles soulignent l'intérêt de ce type d'enzyme lorsque la liquéfaction doit se dérouler dans des conditions thermiques élevées, où une enzyme moins stable perdrait rapidement son efficacité ^[2].

Dans les procédés d'alcool et de brassage, la liquéfaction ne doit pas être confondue avec la saccharification complète. L'objectif principal est de transformer une bouillie épaisse en un substrat plus fluide, plus homogène et plus disponible pour les enzymes ou micro-organismes impliqués ensuite dans la production de sucres fermentescibles et d'alcool [3].

Pourquoi l'amidon doit être liquéfié avant la conversion

Lorsqu'une matière première amylicée est mélangée à l'eau et chauffée, les granules d'amidon absorbent l'eau, gonflent, perdent leur organisation cristalline et augmentent fortement la viscosité du mélange. Cette gélatinisation rend l'amidon plus accessible, mais elle crée simultanément une bouillie difficile à agiter, pomper et chauffer uniformément, surtout lorsque la teneur en solides est élevée [3].

L'alpha-amylase intervient précisément à ce point critique. En fragmentant les longues chaînes d'amidon, elle réduit la viscosité et limite la formation d'une masse trop épaisse ou hétérogène. Les travaux sur la liquéfaction de l'amidon de manioc décrivent l'utilisation de l'alpha-amylase pour convertir l'amidon en maltodextrines, avec des résultats influencés par le pH, la température et le temps de réaction [3].

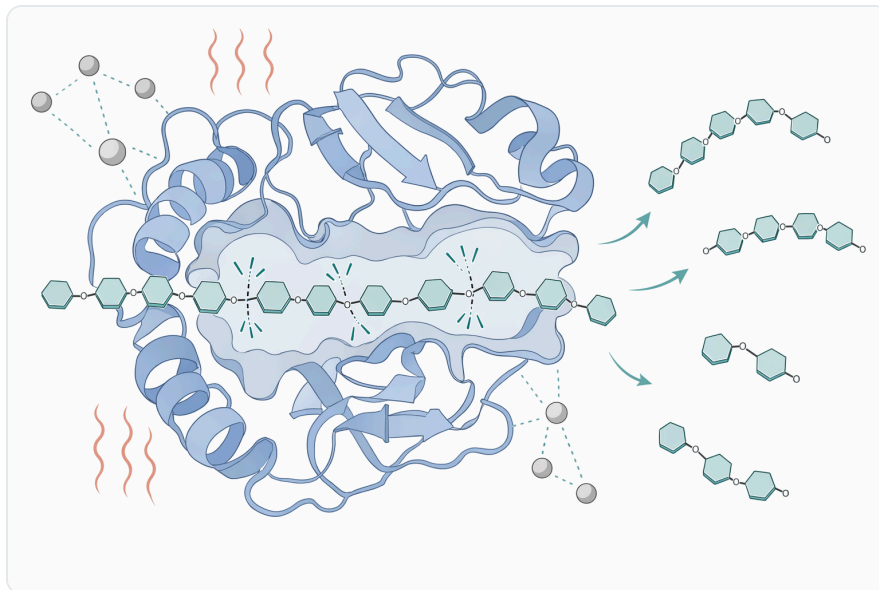


Figure 1. 고온성 알파-아밀라아제는 내부 알파 글루코시드 결합을 가수분해하여 호화된 전분을 수용성 덱스트린으로 액화합니다.

Cette fluidification a une conséquence opérationnelle directe : le transfert de chaleur devient plus régulier, le mélange est plus facile à maintenir en suspension et les points de surchauffe ou de sous-traitement sont moins probables. La littérature sur les alpha-amylases industrielles présente la liquéfaction comme une étape essentielle de transformation de l'amidon en fragments solubles adaptés aux procédés ultérieurs [1].

Pour la production d'alcool, cette préparation est particulièrement importante, car les levures fermentent principalement des sucres simples ou des oligosaccharides convertibles, et non de longues chaînes d'amidon intactes. L'alpha-amylase haute température prépare donc la matière à une saccharification plus efficace, mais elle ne remplace pas nécessairement les autres enzymes amylolytiques utilisées pour générer les sucres fermentescibles finaux [4].

Mécanisme enzymatique : de l'amidon gélatinisé aux dextrines

L'amidon est constitué principalement de deux polymères de glucose : l'amylose, plus linéaire, et l'amylopectine, fortement ramifiée. L'alpha-amylase hydrolyse les liaisons internes α -1,4 de ces polymères, ce qui produit un mélange de dextrines, maltodextrines et maltooligosaccharides ; les points de ramification α -1,6 de l'amylopectine ne sont pas hydrolysés de la même manière par l'alpha-amylase classique [1].

Cette distinction explique pourquoi la liquéfaction par alpha-amylase réduit fortement la viscosité sans produire automatiquement un sirop riche en glucose. Le milieu contient surtout des fragments de taille intermédiaire qui devront, selon l'objectif du procédé, être transformés par d'autres activités enzymatiques pour atteindre un profil fermentescible ou sucrant donné [4].

La baisse de viscosité est liée à la réduction rapide de la longueur moyenne des chaînes. De longues molécules d'amidon hydratées créent un réseau épais qui entrave l'écoulement ; lorsqu'elles sont coupées en fragments plus courts, les interactions entre chaînes diminuent, la suspension devient moins résistante au cisaillement et l'agitation demande moins d'effort mécanique [3].

Le caractère thermostable de l'enzyme permet d'effectuer cette hydrolyse pendant une fenêtre où l'amidon est suffisamment ouvert et hydraté. Les études portant sur des alpha-amylases thermostables montrent que la stabilité à chaud est un critère central pour maintenir l'activité catalytique au moment où le substrat est le plus accessible [2].

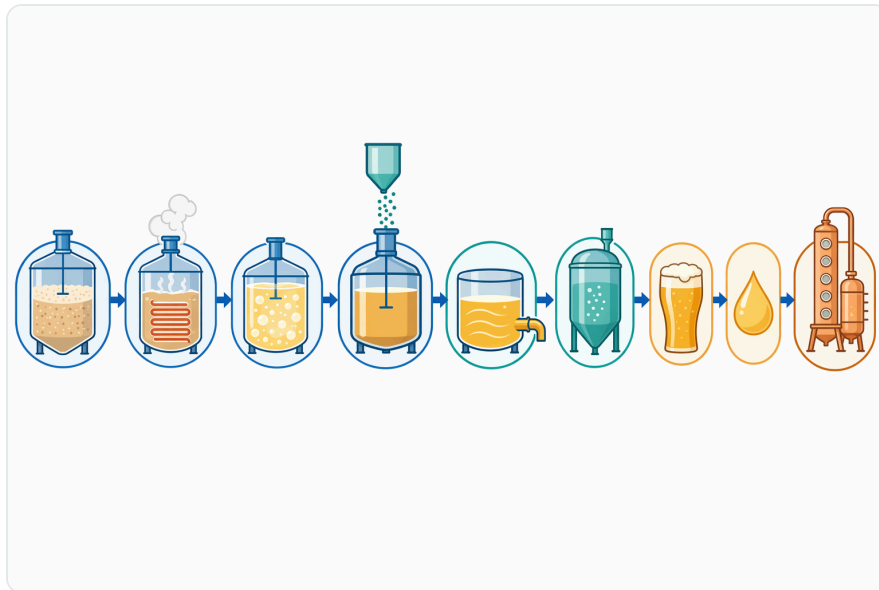


Figure 2. 주정 및 양조 공정에서는 고온 액화 단계에서 고온성 알파-아밀라아제를 첨가해 매시의 점도를 낮추고 전분을 당화에 적합한 상태로 준비합니다.

Place dans un procédé alcoolier ou brassicole

Dans un procédé alcoolier à base d'amidon, l'enchaînement général comprend une préparation de la matière première, une hydratation, une cuisson ou gélatinisation, une liquéfaction, puis une saccharification et une fermentation. L'alpha-amylase haute température agit surtout pendant la liquéfaction : elle transforme la bouillie gélatinisée en une matrice plus fluide et plus facile à convertir [3].

Dans le brassage, le même principe s'applique aux matières céréalières contenant de l'amidon. Les enzymes amylolytiques influencent la viscosité du moût, la disponibilité des glucides et les propriétés fonctionnelles des farines ou moutures. Les études sur les matrices céréalières montrent que l'activité alpha-amylase affecte les propriétés de pâte, de gélatinisation et d'écoulement des systèmes riches en amidon [5].

Le bénéfice n'est pas seulement chimique ; il est aussi mécanique. Une liquéfaction insuffisante peut se traduire par un brassage difficile, un pompage irrégulier, une mauvaise homogénéité thermique et une accessibilité limitée du substrat. À l'inverse, une hydrolyse contrôlée raccourcit les polymères et aide à stabiliser les conditions physiques du moût ou de la bouillie [1].

L'alpha-amylase haute température est donc une enzyme de préparation du substrat. Elle contribue à créer les conditions dans lesquelles les enzymes saccharifiantes, les levures ou les autres étapes de procédé peuvent fonctionner de manière plus régulière, sans prétendre déterminer à elle seule le rendement final en alcool ou le profil complet des sucres [4].

Tableau comparatif : liquéfaction, saccharification et fermentation

Étape du procédé	Objectif principal	Rôle de l'alpha-amylase haute température	Produits ou effets attendus	Point de vigilance
Hydratation et chauffage	Faire gonfler et gélatiniser l'amidon	L'enzyme peut être introduite dans une fenêtre compatible avec le procédé	Amidon plus accessible, mais viscosité élevée	Sans hydrolyse, le mélange peut devenir difficile à agiter ^[3]
Liquéfaction	Réduire la viscosité et fragmenter l'amidon	Action centrale : coupure interne des chaînes α -1,4	Dextrines, maltodextrines, maltooligosaccharides ; meilleure pompabilité	Les résultats dépendent du pH, de la température, du temps et du substrat ^[3]
Saccharification	Produire davantage de sucres fermentescibles	Rôle indirect : substrat préparé pour d'autres enzymes	Glucides plus courts convertibles selon l'enzymologie du procédé	L'alpha-amylase seule ne garantit pas le profil final de sucres ^[4]
Fermentation alcoolique	Convertir les sucres disponibles en alcool	Pas l'étape principale de l'enzyme	Utilisation des sucres fermentescibles par les micro-organismes	Le rendement dépend du procédé complet, pas seulement de la liquéfaction ^[4]

Ce tableau montre que l'alpha-amylase haute température agit au moment où la contrainte physique du procédé est la plus forte : l'amidon a été rendu accessible par la chaleur, mais sa viscosité peut gêner le traitement. Sa fonction industrielle est donc de relier la gélatinisation thermique à une conversion enzymatique ou fermentaire plus maîtrisable ^[2].

Paramètres qui influencent la performance en liquéfaction

La performance d'une alpha-amylase dépend fortement de la matière première. L'amidon de manioc, de maïs, de blé, de riz ou de pois n'a pas exactement la même structure granulaire, la même proportion d'amylose et d'amylopectine, ni la même interaction avec les protéines, fibres et minéraux de la matrice. Des études sur plusieurs substrats amylics montrent que les résultats d'hydrolyse ne peuvent pas être généralisés sans tenir compte de la nature du substrat ^[6].

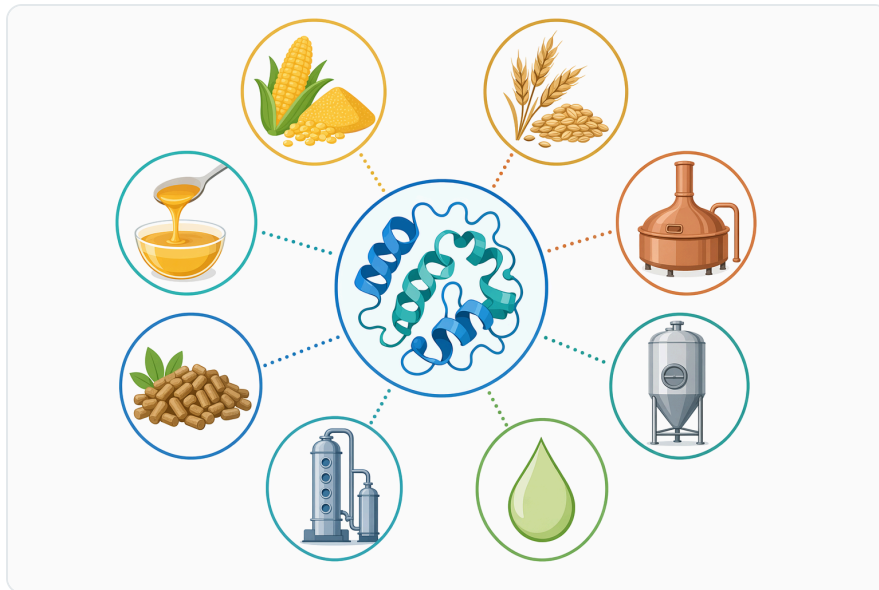


Figure 3. 이 효소는 양조, 연료용 알코올, 음용 증류주, 곡물 가공 및 관련 전분 전환 공정에서 전분 액화에 사용됩니다.

La température influence à la fois le substrat et l'enzyme. Elle favorise la gélatinisation et l'ouverture des granules, mais elle peut aussi déstabiliser la structure protéique de l'enzyme si les conditions dépassent sa zone de stabilité. Les travaux sur des alpha-amylases hyperthermophiles indiquent que des adaptations structurales spécifiques peuvent améliorer la stabilité à chaud, ce qui explique l'intérêt industriel de ces enzymes pour la liquéfaction [2].

Le pH module l'état ionique des acides aminés catalytiques et la stabilité globale de l'enzyme. Certaines alpha-amylases bactériennes présentent une activité adaptée à des milieux légèrement acides à proches de la neutralité, mais les plages utiles varient selon l'origine enzymatique et la formulation. Des recherches sur des alpha-amylases thermostables ou acidorésistantes illustrent l'importance de combiner stabilité thermique et compatibilité de pH [7].

Le temps de contact détermine le degré de fragmentation atteint. Une durée trop courte peut laisser une viscosité excessive ; une durée trop longue peut modifier le profil de dextrans au-delà de l'objectif de liquéfaction. Les travaux expérimentaux sur la liquéfaction de l'amidon montrent que la formation de sucres réducteurs et le degré d'hydrolyse évoluent avec le temps, en interaction avec la température et le pH [3].

La concentration en solides et l'intensité de mélange ont également un impact. Plus le milieu est dense, plus la diffusion de l'enzyme, la dispersion de chaleur et l'accès au substrat peuvent devenir limitants. La liquéfaction enzymatique aide à réduire cette contrainte, mais elle reste dépendante de l'homogénéité physique du système et de la disponibilité de l'amidon gélatinisé [1].

Thermostabilité : pourquoi elle compte en alcool et en brassage

La thermostabilité signifie qu'une enzyme conserve une structure active pendant une exposition à des températures élevées compatibles avec son usage. Pour la liquéfaction de l'amidon, cette propriété est essentielle parce que l'amidon devient plus accessible précisément après chauffage, lorsque les granules se désorganisent et que les chaînes glucidiques sont plus exposées [2].

Les alpha-amylases issues de micro-organismes thermophiles, ou optimisées pour la stabilité, sont étudiées depuis longtemps pour des applications industrielles exigeantes. Une étude sur une souche thermophile de *Bacillus megaterium* a par exemple porté sur la production et la caractérisation d'une alpha-amylase thermostable, illustrant l'intérêt des bactéries thermophiles comme sources d'enzymes actives à chaud [8].

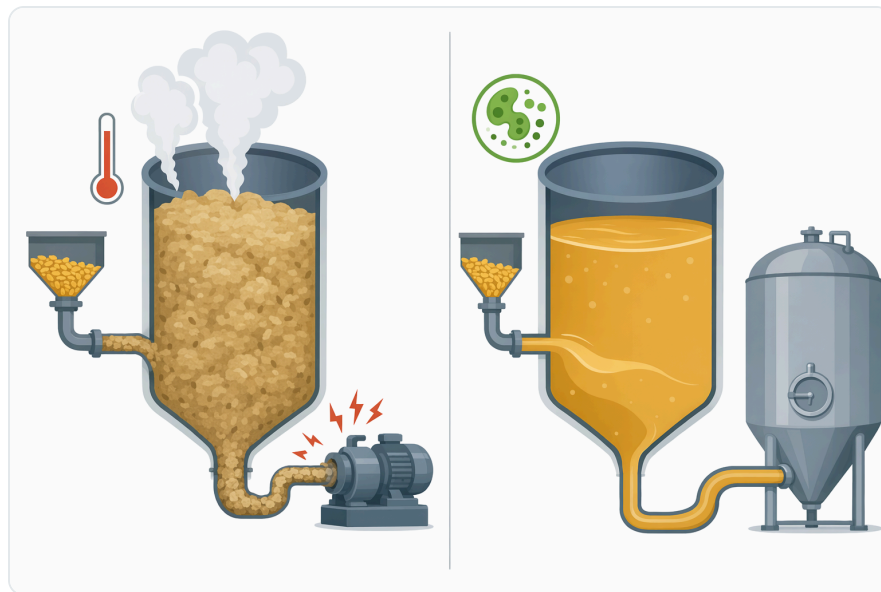


Figure 4. 비효소적 열처리만 사용하는 경우와 비교해, 알파-아밀라아제 액화는 매시의 점도를 낮추고 이후 단계에서 발효성 당 생산을 향상시킵니다.

La stabilité peut être influencée par des ions, des interactions structurales internes ou des modifications de conformation. Des travaux sur la modification de la stabilité et de l'efficacité catalytique de l'alpha-amylase par le calcium et les ultrasons montrent que la structure enzymatique et son environnement peuvent affecter la résistance thermique et l'activité catalytique [9].

Il existe aussi des recherches visant des alpha-amylases résistantes à la fois à la chaleur et à l'acidité, ce qui correspond à une problématique industrielle fréquente : maintenir une activité utile dans des conditions qui ne sont ni neutres ni douces. Un document sur une souche mutante d'alpha-amylase à haute température et résistante à l'acide illustre cette direction de développement enzymatique [10].

Pour un utilisateur industriel, la conclusion pratique est que la thermostabilité ne doit pas être perçue comme une simple mention marketing. Elle correspond à une contrainte biochimique réelle : l'enzyme doit rester active pendant que le substrat est gélatinisé, fluide en cours d'hydrolyse et exposé à une énergie thermique élevée [2].

Applications en production d'alcool

Dans les filières alcoolières utilisant des matières amylacées, l'alpha-amylase haute température est pertinente pour transformer une suspension épaisse en hydrolysats liquéfiés. Cela concerne les procédés où la source de carbone initiale est majoritairement de l'amidon, et où celui-ci doit être rendu disponible avant fermentation [3].

L'hydrolyse initiale par alpha-amylase ne vise pas nécessairement à maximiser immédiatement le glucose. Elle produit surtout des dextrans et maltodextrans qui deviennent ensuite des substrats pour des enzymes saccharifiantes ou d'autres systèmes de conversion. Des études sur l'hydrolyse enzymatique d'amidons de tubercules montrent que la production finale de glucose dépend de la combinaison enzymatique et des conditions globales du procédé [4].

La réduction de viscosité peut aussi améliorer la gestion énergétique du procédé. Un milieu plus fluide est généralement plus facile à agiter et à transférer, ce qui favorise une distribution plus uniforme de la chaleur et des enzymes. La littérature sur les alpha-amylases industrielles relie directement l'hydrolyse de l'amidon à la production d'intermédiaires plus faciles à transformer [1].

Il faut toutefois éviter d'attribuer à l'alpha-amylase seule la totalité de la performance alcoolière. Le rendement final dépend aussi de la matière première, de la préparation mécanique, de la saccharification, de la souche fermentaire, de la gestion des inhibiteurs et des paramètres de fermentation. La liquéfaction est une étape déterminante, mais elle s'inscrit dans une chaîne de conversion complète [4].

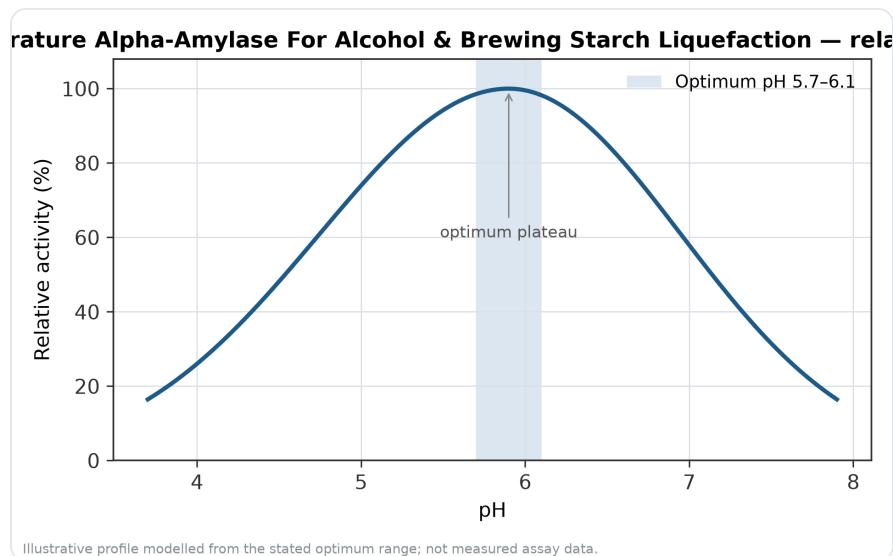


Figure 5. pH에 따른 주정 및 양조용 전분 액화 고온성 알파-아밀라아제의 상대 활성으로, pH 5.7~6.1에서 최적 활성 구간이 나타납니다.

Applications en brassage et transformation des céréales

Dans le brassage, les matières céréalières apportent de l'amidon, des protéines, des fibres et des composés mineurs qui influencent la texture et la filtrabilité du moût. L'alpha-amylase agit sur la fraction amidon en réduisant la longueur des chaînes glucidiques et en contribuant à la formation d'un moût plus manipulable [5].

Les travaux sur le protéome du grain de blé et le problème de l'alpha-amylase de maturité tardive montrent que l'activité alpha-amylase peut avoir un effet important sur la qualité fonctionnelle des grains et farines. Même si ce contexte agronomique est différent d'une addition enzymatique industrielle, il confirme l'influence majeure de cette famille enzymatique sur les propriétés des matrices céréalières [5].

Les procédés céréaliers chauffés — brassage, cuisson, extrusion ou préparation de farines fonctionnelles — combinent toujours trois phénomènes : l'hydratation de l'amidon, la transformation thermique de la matrice et l'action enzymatique. Une étude sur la bio-extrusion du riz avec alpha-amylase thermostable montre que l'enzyme peut être intégrée à des environnements thermomécaniques, où chaleur et cisaillement modifient fortement l'accessibilité du substrat [11].

Pour les applications de brassage, l'intérêt pratique est donc de maîtriser la phase où la viscosité du moût ou de la maische peut limiter l'homogénéité. Une alpha-amylase haute température permet de travailler au plus près des conditions de gélatinisation, tout en hydrolysant l'amidon avant que la matrice ne devienne trop difficile à gérer [2].

Applications pour maltodextrines et intermédiaires amylacés

La liquéfaction par alpha-amylase ne sert pas uniquement aux boissons alcoolisées. Elle est aussi utilisée pour produire des intermédiaires amylacés, notamment des dextrans, maltodextrines et maltooligosaccharides, qui peuvent ensuite être purifiés, convertis ou formulés selon les objectifs industriels [1].

Les recherches sur les alpha-amylases hyperthermophiles indiquent que ces enzymes peuvent contribuer à la production de maltooligosaccharides et d'autres bioproduits à partir de substrats amylacés. La thermostabilité est ici encore utile, car elle permet d'associer gélatinisation et hydrolyse dans un environnement compatible avec la transformation industrielle de l'amidon [2].

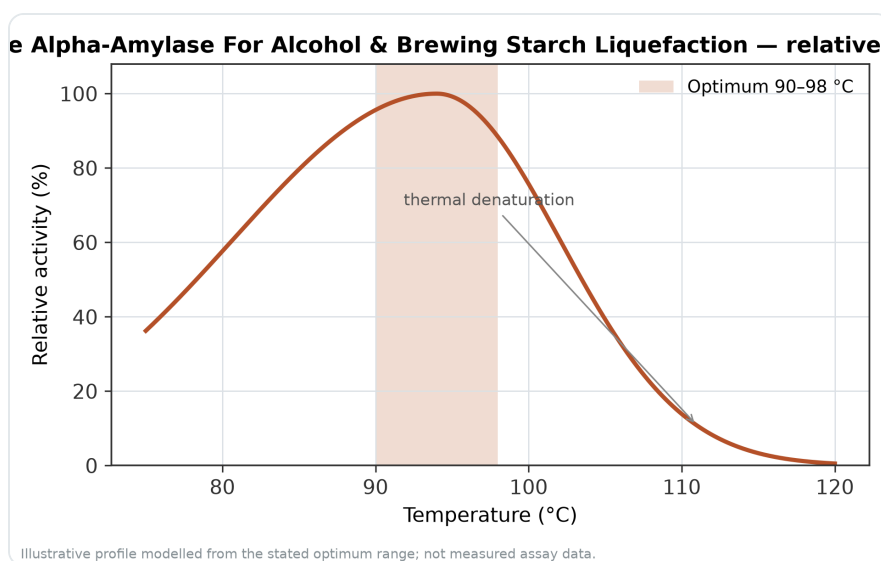


Figure 6. 온도에 따른 주정 및 양조용 전분 액화 고온성 알파-아밀라아제의 상대 활성으로, 90~98°C에서 최적 활성을 보이며 최적 온도 이상에서는 열변성에 따른 전형적인 활성 감소가 나타납니다.

Les matières premières possibles sont variées, mais elles ne se comportent pas toutes de la même manière. Les travaux sur le manioc, le riz, le blé, le pois ou les tubercules montrent que la structure de l'amidon, la présence de composants non amylacés et les conditions de préparation modifient les profils d'hydrolyse [6].

Dans ces applications, l'alpha-amylase haute température doit être comprise comme un outil de contrôle de la taille des polymères glucidiques. Elle permet d'orienter la transformation vers des fragments plus courts, sans que le résultat exact puisse être déduit uniquement du nom de l'enzyme ou de la matière première [3].

Lecture responsable des preuves scientifiques

Les preuves les plus solides concernent trois points : l'alpha-amylase hydrolyse l'amidon, cette hydrolyse réduit la viscosité en produisant des fragments plus courts, et la thermostabilité est importante lorsque la liquéfaction se déroule à chaud. Ces éléments sont cohérents avec les travaux sur la liquéfaction de l'amidon, les alpha-amylases industrielles et les enzymes thermostables [3].

Les preuves deviennent plus spécifiques lorsqu'on parle d'un substrat, d'un pH, d'un profil thermique ou d'un objectif final précis. Une étude réalisée sur l'amidon de manioc, par exemple, peut démontrer l'effet du pH, de la température et du temps dans cette matrice, mais elle ne prédit pas exactement le comportement d'une farine de blé, d'un riz extrudé ou d'une bouillie de maïs [3].

Certaines publications sur les alpha-amylases portent sur des contextes plus éloignés, comme des enzymes halophiles, résistantes aux tensioactifs ou issues de souches particulières. Une alpha-amylase extrêmement halophile, indépendante du calcium et résistante aux surfactants a par exemple été décrite chez *Alkalibacterium* sp. SL3, mais ces propriétés ne doivent pas être transposées automatiquement à une application de liquéfaction alcoolière ou brassicole [12].

De même, des recherches récentes explorent de nouveaux substrats de production d'alpha-amylase, comme l'albédo de pomelo utilisé avec *Bacillus licheniformis*. Ces travaux sont utiles pour comprendre la diversité des sources et procédés de production enzymatique, mais ils ne constituent pas à eux seuls une preuve de performance dans un moût industriel donné [13].

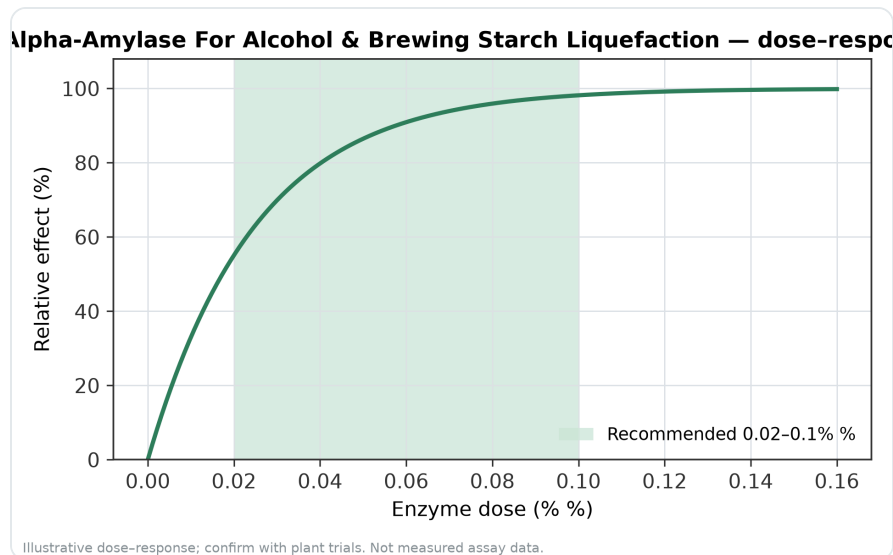


Figure 7. 권장 사용 범위(0.02~0.1%)에서 주정 및 양조용 전분 액화 고온성 알파-아밀라아제의 용량-반응을 예시한 그래프입니다.

L'interprétation correcte est donc la suivante : la fonction enzymatique et l'intérêt de la thermostabilité sont bien établis, tandis que la performance exacte dépend toujours des conditions de procédé. Cette distinction évite de transformer une preuve scientifique générale en promesse opérationnelle non démontrée ^[1].

Avantages opérationnels attendus

Le premier avantage est la **réduction de viscosité**. En coupant les chaînes d'amidon gélatinisé, l'alpha-amylase transforme une suspension épaisse en milieu plus fluide, ce qui facilite l'agitation, la circulation et l'homogénéisation thermique. Ce mécanisme est directement lié à la conversion de l'amidon en dextrans et maltodextrans décrite dans les études de liquéfaction ^[3].

Le deuxième avantage est la **compatibilité avec les étapes chaudes du procédé**. Une enzyme haute température peut agir pendant la période où l'amidon est le plus accessible, ce qui réduit l'écart entre la transformation thermique du substrat et l'hydrolyse enzymatique. Les travaux sur les alpha-amylases thermostables soutiennent cette logique d'intégration dans des conditions de liquéfaction exigeantes ^[2].

Le troisième avantage est la **préparation du substrat pour la suite du procédé**. Les fragments produits par l'alpha-amylase sont plus accessibles aux enzymes qui génèrent les sucres fermentescibles, ce qui fait de la liquéfaction une étape de conditionnement biochimique plutôt qu'une fin en soi ^[4].

Le quatrième avantage est la **souplesse d'application sur différentes matrices amylacées**. Les alpha-amylases sont étudiées sur de nombreuses sources végétales d'amidon, même si les résultats doivent toujours être ajustés au substrat réel. Cette diversité de travaux soutient l'intérêt de l'enzyme pour les secteurs de l'alcool, du brassage et des ingrédients amylacés ^[6].

Positionnement du produit Enzymes.bio

Le produit **High Temperature Alpha-Amylase For Alcohol & Brewing Starch Liquefaction** est proposé par Enzymes.bio pour les usages professionnels de liquéfaction de l'amidon dans les applications alcoolières et brassicoles. Enzymes.bio le vend directement en ligne en unité de 1 kg ; le certificat d'analyse et la fiche de données de sécurité sont fournis avec la commande .

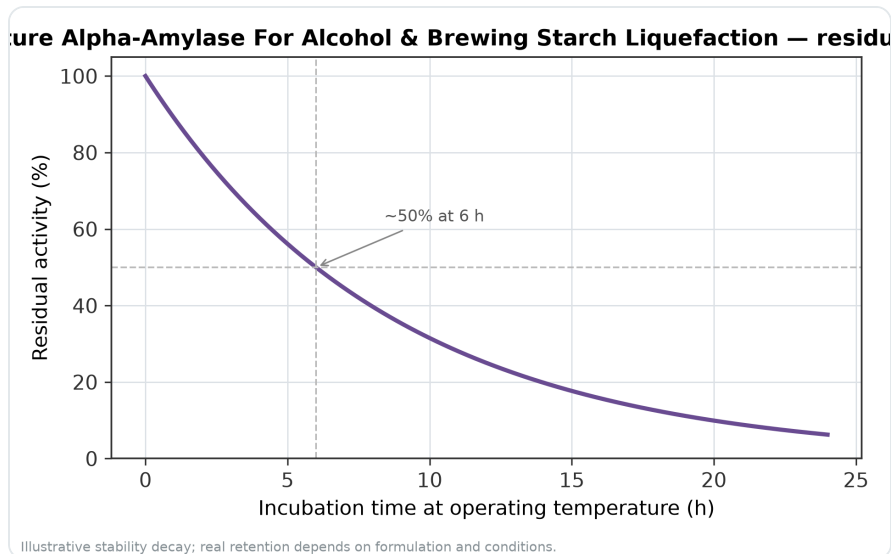


Figure 8. 주정 및 양조용 전분 액화 고온성 알파-아밀라아제의 열 안정성 감소 예시로, 운전 온도에서 시간이 지남에 따라 잔존 활성이 감소하는 모습을 보여 줍니다.

Enzymes.bio doit être compris ici comme un fournisseur en ligne, non comme un fabricant ou un laboratoire. Le rôle de cette fiche technique est d'expliquer la fonction enzymatique, les mécanismes de liquéfaction et les limites d'interprétation des données scientifiques disponibles, sans attribuer au produit des performances universelles ou indépendantes des conditions de procédé .

Pour un utilisateur B2B, l'information essentielle est que cette enzyme appartient à la famille des alpha-amylases thermostables destinées à la fragmentation de l'amidon gélatinisé. Elle s'insère dans les procédés où la maîtrise de la viscosité, la préparation du substrat et la compatibilité avec des étapes chaudes sont des enjeux pratiques majeurs [2].

Conclusion technique

L'alpha-amylase haute température pour liquéfaction de l'amidon est une enzyme clé pour les procédés d'alcool, de brassage et de transformation céréalière. Elle agit en hydrolysant les liaisons internes de l'amidon gélatinisé, ce qui réduit la viscosité et produit des dextrans, maltodextrines et maltooligosaccharides plus faciles à convertir lors des étapes suivantes [3].

Les données scientifiques soutiennent clairement l'intérêt des alpha-amylases dans la liquéfaction de l'amidon, ainsi que l'importance de la thermostabilité lorsque le procédé se déroule à chaud. Les résultats réels restent toutefois dépendants du substrat, du pH, de la température, du temps de contact, de la concentration en solides et de l'organisation globale du procédé [1].

Dans ce cadre, le produit proposé par Enzymes.bio répond à une fonction industrielle précise : faciliter la liquéfaction de l'amidon pour les applications alcoolières et brassicoles. Il est disponible en ligne en unité de 1 kg, avec CoA et SDS fournis avec la commande, afin d'accompagner une utilisation professionnelle documentée .

Commander High Temperature Alpha-Amylase For Alcohol & Brewing Starch Liquefaction 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 High Temperature Alpha-Amylase For Alcohol & Brewing Starch Liquefaction →](#)

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. [Pmc3769773](#). *PubMed Central*.
2. [23Aff7E18Ebf8E06107D03B1159D47Bf264F24Ae](#). *Semantic Scholar*.
3. [9Cab6412218B4D4C22Aacecbf4241C2C77B81200](#). *Semantic Scholar*.
4. [F0F5Ed257950869D2651Ff1Ba09E9B59B6797Aaa](#). *Semantic Scholar*.
5. Vincent, D., Bui, A., Ezernieks, V., Shahinfar, S., Luke, T., Ram, D., Rigas, N., ... et al. (2022). [A community resource to mass explore the wheat grain proteome and its application to the late-maturity alpha-amylase \(LMA\) problem](#). *GigaScience*, 12.
6. [6871A17F937D847758Ac15C9Af9386D687F61Cd0](#). *Semantic Scholar*.
7. [51E792371F08B3486B01F36B29347637B6A568C4](#). *Semantic Scholar*.
8. Abootalebi, S. N., Saeed, A., Gholami, A., Mohkam, M., Kazemi, A., Nezafat, N., Mousavi, S., ... et al. (2020). [Screening, Characterization and Production of Thermostable Alpha-Amylase Produced by a Novel Thermophilic Bacillus megaterium Isolated from Pediatric Intensive Care Unit](#).
9. Abedi, E., Torabizadeh, H., & Orden, L. (2023). [Enhancement of Alpha-amylase's Stability and Catalytic Efficiency After Modifying Enzyme Structure Using Calcium and Ultrasound](#). *Food and Bioprocess Technology*, 17, 1546 - 1562.
10. 刘逸寒, 李玉, 杜连祥, 王建玲, 王春霞, & 路福平 (2008). [High-temperature acid-resistant alpha-amylase mutant strain and construction method thereof](#).
11. [87B57404375D44C090113D15D8A76682595E408E](#). *Semantic Scholar*.

12. Wang, G., Luo, M., Lin, J., Lin, Y., Yan, R., Streit, W., & Ye, X. (2019). A New Extremely Halophilic, Calcium-Independent and Surfactant-Resistant Alpha-Amylase from Alkalibacterium sp. SL3. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29 5, 765-775 .
13. Tran, T. N., Chen, S., Doan, C., & Wang, S. (2025). Unlocking the Potential of Pomelo Albedo: A Novel Substrate for Alpha-Amylase Production Using Bacillus licheniformis. *Fermentation*.

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.