

Alpha-amylase thermostable liquide pour hydrolyse de l'amidon : liquéfaction, sirops, fermentation et transformation industrielle

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

L'alpha-amylase thermostable liquide est une enzyme de procédé utilisée pour hydrolyser l'amidon, réduire rapidement la viscosité des pâtes amylacées et préparer les étapes de saccharification, fermentation ou formulation. Elle agit principalement comme endo-amylase en coupant des liaisons α -1,4 à l'intérieur des chaînes d'amylose et d'amylopectine, générant des dextrans et des malto-oligosaccharides plutôt qu'un glucose final pur en une seule étape [1].

Enzymes.bio fournit ce produit en ligne par unité de 1 kg, avec certificat d'analyse et fiche de données de sécurité fournis avec la commande. Le rôle de ce document est d'expliquer les usages, les mécanismes et les limites techniques d'une alpha-amylase thermostable liquide pour la transformation de l'amidon, sans assimiler Enzymes.bio à un fabricant ou à un laboratoire.

Comprendre l'alpha-amylase thermostable dans le traitement de l'amidon

Une alpha-amylase est une enzyme amylolytique qui catalyse l'hydrolyse de l'amidon, un polymère de glucose présent dans les céréales, tubercules et racines riches en réserve glucidique. Dans les procédés industriels, elle est surtout utilisée pour convertir une suspension ou pâte d'amidon visqueuse en un mélange plus fluide contenant des fragments plus courts : dextrans, maltose, maltotriose et autres malto-oligosaccharides selon les conditions de réaction et la matière première [1].

Le terme « thermostable » désigne l'intérêt de l'enzyme pour des procédés où l'amidon est chauffé afin de gonfler, gélatiniser ou rendre plus accessible sa structure granulaire. Cette propriété est importante car l'amidon natif est souvent peu accessible aux enzymes tant que les granules restent intacts ; les traitements thermiques modifient la structure de l'amidon et peuvent augmenter l'accessibilité enzymatique, mais ils exigent une enzyme capable de conserver une activité utile dans ces conditions [2].

Dans une ligne de transformation, l'alpha-amylase thermostable liquide ne doit pas être confondue avec une enzyme de saccharification complète. Sa fonction centrale est la liquéfaction : elle raccourcit les chaînes responsables de la viscosité et prépare le substrat à d'autres enzymes éventuelles, comme les glucoamylases ou enzymes débranchantes, lorsqu'un profil plus riche en glucose ou en sucres fermentescibles est recherché [3].

Mécanisme d'action : de la chaîne d'amidon aux dextrines

L'amidon est constitué de deux fractions principales : l'amylose, majoritairement linéaire, et l'amylopectine, fortement ramifiée. Ces deux macromolécules contiennent des unités de glucose reliées surtout par des liaisons α -1,4, avec des points de branchement α -1,6 dans l'amylopectine ; l'alpha-amylase attaque principalement les liaisons α -1,4 internes, d'où son caractère d'endo-enzyme [4].

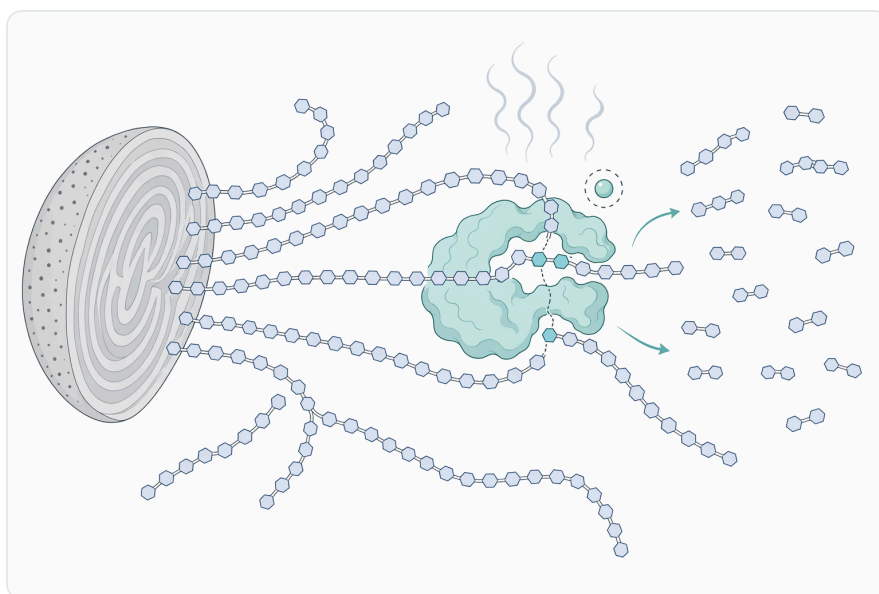


Figure 1. L'alpha-amylase thermostable réduit la viscosité des suspensions d'amidon en clivant de façon endo les liaisons internes α -1,4 de l'amylose et de l'amylopectine gélatinisés, formant ainsi des dextrines plus courtes.

Cette coupure interne explique la baisse rapide de viscosité observée lors de la liquéfaction. Les longues chaînes hydratées contribuent fortement à l'épaississement de la pâte ; lorsqu'elles sont fragmentées, leur capacité à former un réseau visqueux diminue. Les études cinétiques sur l'hydrolyse de dispersions d'amidon de maïs gélatinisé montrent que la vitesse et l'étendue de l'hydrolyse dépendent à la fois de l'état du substrat, de la disponibilité des liaisons et de l'accumulation de produits comme le glucose, qui peut influencer l'activité apparente de l'alpha-amylase [1].

L'action ne progresse pas uniformément dans toutes les matières amylacées. Les granules d'amidon présentent une organisation multi-échelle, avec des couches externes, des zones cristallines et amorphes, et des structures internes qui ne sont pas toutes accessibles au même moment. Des travaux comparant l'amidon de maïs et de pomme de terre soulignent que les différences entre enveloppes externes et blocs internes influencent le mécanisme d'hydrolyse par l'alpha-amylase [4].

Pour une alpha-amylase thermostable liquide, la formulation liquide facilite l'incorporation dans une suspension ou un procédé aqueux, mais l'efficacité réelle reste contrôlée par le substrat : origine botanique, degré de gélatinisation, taille des particules, matière sèche, agitation, pH, sels, inhibiteurs éventuels et temps de contact. Les recherches sur les traitements thermiques de produits d'orge montrent que la digestibilité de l'amidon résulte simultanément des propriétés structurales de l'amidon et de l'activité enzymatique disponible [2].

Pourquoi la thermostabilité est importante en hydrolyse de l'amidon

La transformation industrielle de l'amidon commence souvent par une étape thermique, car le chauffage en présence d'eau gonfle les granules et désorganise partiellement les structures cristallines. Cette gélatinisation accroît l'accessibilité des chaînes glucidiques, mais elle peut aussi inactiver des enzymes sensibles à la chaleur ; une alpha-amylase thermostable est donc pertinente lorsque l'on souhaite combiner accessibilité accrue du substrat et activité enzymatique pendant une phase chaude du procédé [5].

Les systèmes contenant amidon, alpha-amylase thermostable et calcium ont été étudiés dans des environnements de faible humidité liés à la bioextrusion, montrant que le contexte ionique et le type d'anion peuvent influencer l'hydrolyse enzymatique. Ce point est important en formulation industrielle : l'enzyme n'agit pas dans l'eau pure, mais dans des matrices où les ions, sels, autres ingrédients et contraintes physiques modifient la disponibilité du substrat et la stabilité de l'enzyme [5].

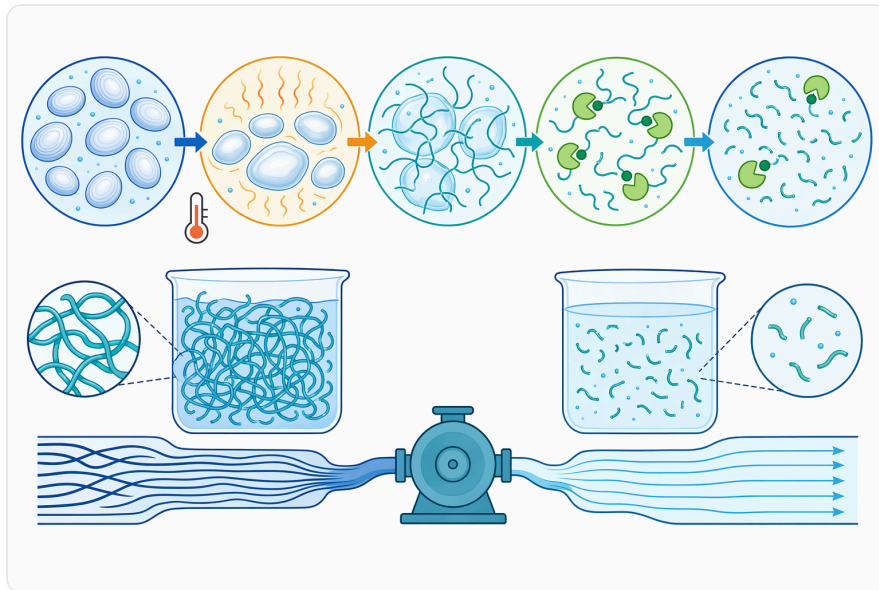


Figure 2. Le chauffage augmente l'accessibilité des chaînes d'amidon, permettant à l'alpha-amylase de convertir de longs polymères enchevêtrés en fragments solubles plus courts.

La thermostabilité ne signifie pas qu'une enzyme fonctionne indéfiniment dans toutes les conditions chaudes. Elle indique plutôt une meilleure adéquation avec des procédés thermiques que des amylases moins stables, dans une fenêtre compatible avec la formulation concernée. Les performances doivent donc être interprétées comme un équilibre entre température, durée d'exposition, pH, composition du milieu et état de l'amidon, plutôt que comme une propriété absolue indépendante du procédé ^[5].

Effets techniques attendus dans une pâte d'amidon

Le premier effet industriel recherché est la réduction de viscosité. Lorsque les chaînes d'amylose et d'amylopectine sont raccourcies, la pâte devient plus fluide, ce qui facilite le pompage, le mélange, l'échange thermique et l'homogénéisation. La modélisation de l'hydrolyse de l'amidon de maïs gélatinisé met en évidence que la cinétique enzymatique dépend de la concentration en substrat disponible et des produits formés au cours de la réaction ^[1].

Le deuxième effet est la formation d'un profil de fragments glucidiques intermédiaires. Une alpha-amylase produit des dextrans et des malto-oligosaccharides qui peuvent ensuite être transformés par d'autres enzymes, fermentés par des microorganismes adaptés ou utilisés comme ingrédients fonctionnels selon le procédé. Les recherches sur la production ciblée de malto-oligosaccharides montrent que le choix du mode d'action enzymatique, y compris l'association avec des enzymes branchantes ou spécialisées, influence fortement le profil final obtenu ^[3].

Le troisième effet est la modification de la structure fonctionnelle de l'amidon. L'hydrolyse enzymatique peut changer la porosité, l'accessibilité, la réactivité et les propriétés de pâte, au-delà de la simple baisse de masse moléculaire. Des travaux sur la modification enzymatique de l'amidon pour l'encollage de surface du papier montrent que des enzymes ayant des modes d'action et des sites d'attaque différents produisent des amidons modifiés aux propriétés distinctes [6].

Alpha-amylase, glucoamylase, enzymes débranchantes : rôles comparés

La liquéfaction enzymatique est souvent une étape d'un système plus large. L'alpha-amylase ne remplit pas la même fonction que les enzymes qui libèrent du glucose depuis les extrémités ou qui traitent les points de branchement de l'amylopectine. Cette distinction est essentielle pour définir l'objectif : baisse de viscosité, production de dextrans, saccharification, fermentation ou obtention d'un profil d'oligosaccharides spécifique [3].



Figure 3. Les différentes enzymes amylolytiques jouent des rôles distincts : l'alpha-amylase thermostable assure la liquéfaction avant que des enzymes telles que la glucoamylase ou les enzymes de débranchement ne poursuivent la saccharification.

Type d'enzyme amylolytique	Mode d'action principal	Produits ou effets dominants	Usage typique dans un procédé amidon
Alpha-amylase thermostable	Coupures internes principalement sur liaisons α -1,4	Dextrines, maltose, maltotriose, baisse de viscosité	Liquéfaction, prétraitement avant saccharification ou fermentation
Glucoamylase	Libération progressive de glucose depuis les	Glucose majoritaire selon conditions	Saccharification après liquéfaction

Type d'enzyme amylolytique	Mode d'action principal	Produits ou effets dominants	Usage typique dans un procédé amidon
	extrémités non réductrices		
Enzyme débranchante	Attaque de points de branchement α -1,6 selon l'enzyme	Chaînes plus accessibles aux exo-enzymes	Amélioration de la conversion de l'amylopectine
Amylases spécialisées formatrices d'oligosaccharides	Sélectivité vers certaines longueurs de chaîne	Malto-oligosaccharides ciblés	Ingrédients fonctionnels, profils glucidiques spécifiques

Les travaux sur l'action synergique d'une amylase formatrice de maltohexaose et d'une enzyme branchante illustrent cette logique : le rendement vers un produit glucidique spécifique dépend de la combinaison enzymatique et non de la seule présence d'une amylase générale. Pour les procédés cherchant une liquéfaction rapide, l'alpha-amylase thermostable est donc un outil amont ; pour les procédés cherchant un sucre précis, elle doit être intégrée dans une stratégie enzymatique plus complète ^[3].

Applications industrielles principales

Liquéfaction de l'amidon et réduction de viscosité

L'application la plus directe est la liquéfaction de suspensions d'amidon issues du maïs, du blé, du riz, de la pomme de terre, du manioc ou d'autres matières riches en amidon. L'enzyme coupe les polymères responsables de la viscosité, ce qui améliore la circulation du milieu, la dispersion des solides et la préparation à des étapes aval comme la filtration, la concentration, la fermentation ou le séchage ^[1].

Dans les procédés chauds, l'intérêt d'une alpha-amylase thermostable est de travailler lorsque l'amidon est plus ouvert et plus accessible. Les résultats obtenus dans des systèmes de bioextrusion à faible humidité rappellent toutefois que la liquéfaction dépend aussi de l'environnement ionique et de la matrice, point important pour les produits céréaliers, extrudés ou formulés où l'eau disponible peut être limitée ^[5].

Sirops, sucres et malto-oligosaccharides

Dans la production de sirops et de bases glucidiques, l'alpha-amylase intervient souvent en première étape pour transformer l'amidon gélatinisé en dextrans plus courtes. Ces fragments peuvent ensuite être convertis en glucose, maltose ou profils d'oligosaccharides selon l'orientation enzymatique choisie

[3]

La production ciblée de malto-oligosaccharides nécessite de contrôler le mode d'action enzymatique. Les études récentes sur les systèmes associant amylases spécialisées et enzymes branchantes montrent que la conversion de l'amidon vers une longueur de chaîne donnée peut être améliorée par synergie, mais cette approche relève d'un design de procédé plus spécifique que la simple liquéfaction

[3]

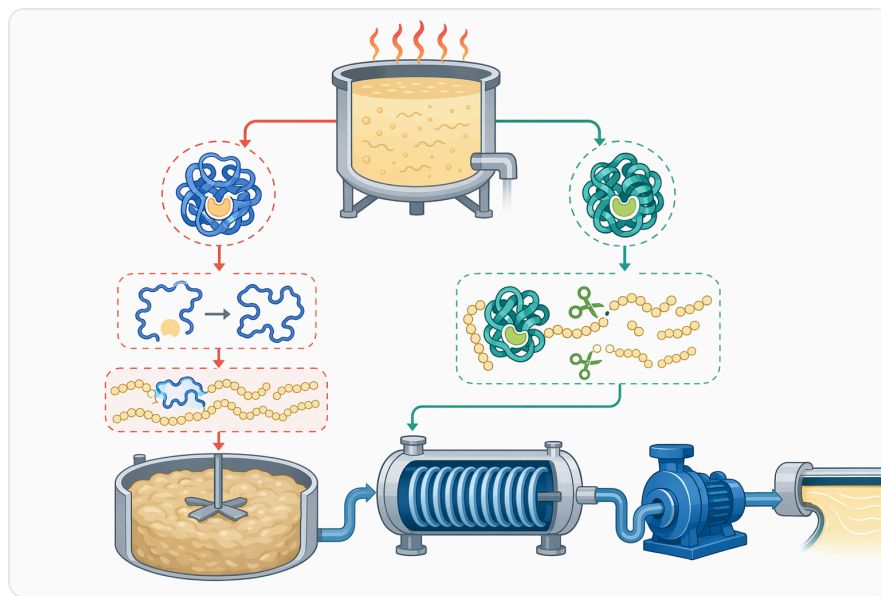


Figure 4. La thermostabilité aide l'enzyme à conserver sa conformation catalytique pendant la phase chaude, lorsque l'amidon se gélatinise et que le contrôle de la viscosité est le plus nécessaire.

Fermentation, brasserie et substrats fermentescibles

Dans les boissons fermentées, le maltage et les fermentations céréalières, l'hydrolyse enzymatique de l'amidon détermine la disponibilité des sucres utilisables par les microorganismes. Une étude sur le maltage du paddy a montré que l'évolution de l'hydrolyse enzymatique de l'amidon peut être suivie par spectroscopie vibrationnelle et analyse multivariée, ce qui confirme l'importance structurale et cinétique de cette étape dans les matrices céréalières [7].

L'alpha-amylase thermostable peut donc être utilisée pour préparer un substrat plus accessible avant fermentation, mais elle ne remplace pas toujours les enzymes nécessaires à la production de sucres simples en quantité suffisante. La performance fermentaire dépend de la totalité du système : liquéfaction, saccharification, composition en nutriments, souche microbienne et conditions de fermentation [7].

Papier, encollage de surface et amidons modifiés

L'amidon modifié enzymatiquement est utilisé dans des applications non alimentaires, notamment l'encollage de surface du papier. Les travaux comparant des enzymes ayant différents modes d'action et sites d'attaque montrent que l'hydrolyse enzymatique peut ajuster les propriétés de l'amidon utilisées pour le papier, en particulier lorsque la viscosité, la pénétration et le comportement filmogène doivent être équilibrés ^[6].

Dans ce contexte, l'alpha-amylase sert à réduire la taille des polymères pour obtenir une solution ou dispersion plus utilisable en application de surface. La spécificité de l'enzyme influence cependant le résultat : deux enzymes amylolytiques peuvent donner des viscosités et performances fonctionnelles différentes même si elles réduisent toutes deux l'amidon ^[6].

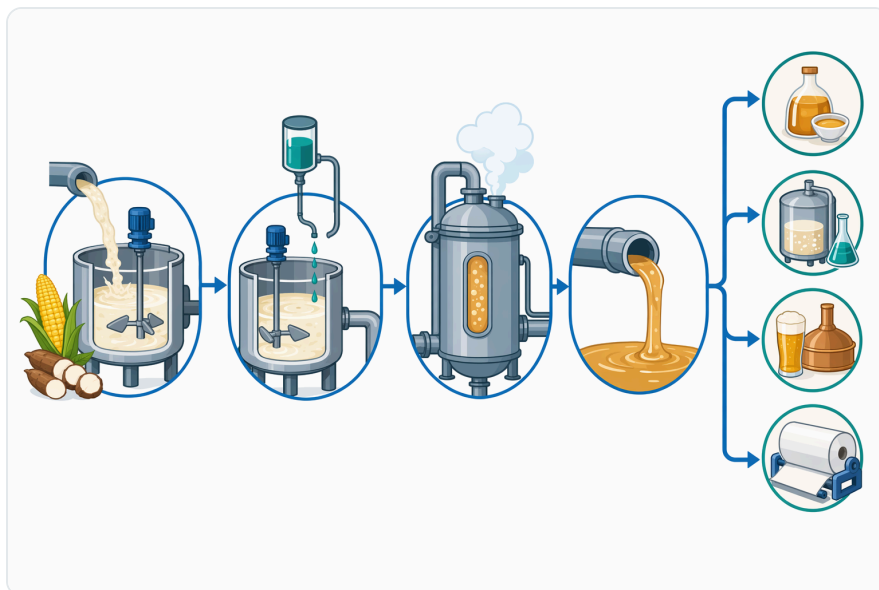


Figure 5. Une séquence typique de conversion de l'amidon comprend la cuisson ou la gélatinisation, la liquéfaction par alpha-amylase thermostable, puis éventuellement une saccharification en aval, une fermentation, une utilisation comme ingrédient ou une modification de l'amidon.

Alimentation animale et hydrolyse de matières amylacées

L'hydrolyse enzymatique de l'amidon est également étudiée pour améliorer l'utilisation de matières premières dans l'alimentation animale. Des travaux de modélisation sur l'alpha-amylase immobilisée sur nanocristaux de cellulose ont exploré les mécanismes de sélection et le potentiel pour l'hydrolyse efficace dans l'alimentation des volailles, montrant l'intérêt de l'accessibilité et de la présentation de l'enzyme au substrat ^[8].

Même si une préparation liquide libre n'est pas identique à une enzyme immobilisée, ces recherches soulignent un principe utile : l'efficacité ne dépend pas uniquement de l'activité catalytique intrinsèque, mais aussi de la manière dont l'enzyme rencontre les chaînes d'amidon dans une matrice complexe [8].

Facteurs qui influencent la performance en procédé

Origine et structure de l'amidon

L'amidon de maïs, de pomme de terre, de blé ou de riz n'a pas la même architecture granulaire, la même proportion amylose/amylopectine ni la même organisation cristalline. Les différences entre amidons de maïs et de pomme de terre, notamment au niveau des couches externes et des structures internes, modifient l'accès de l'alpha-amylase aux liaisons hydrolysables [4].

Cette variabilité explique pourquoi une même enzyme peut produire une réduction de viscosité rapide dans une matrice et plus progressive dans une autre. Les amidons riches en structures moins accessibles, les farines contenant des protéines, fibres ou lipides, et les matières premières partiellement traitées peuvent présenter des profils d'hydrolyse différents [4].

Gélatinisation, traitements thermiques et accessibilité

Les traitements thermiques modifient l'état de l'amidon et sa digestibilité enzymatique. Dans les produits à base d'orge, différents traitements thermiques affectent simultanément les propriétés structurales de l'amidon et l'activité enzymatique, ce qui influence la digestion ou l'hydrolyse observée [2].



Figure 6. L'alpha-amylase thermostable est utilisée dans la liquéfaction de l'amidon, les flux de dextrans, la transformation du manioc et des céréales, la production d'amidon poreux, le désencollage textile et le traitement des déchets riches en amidon.

Pour l'hydrolyse industrielle, cela signifie que la température ne doit pas être considérée seulement comme un paramètre d'activation de l'enzyme. Elle modifie aussi le substrat lui-même : gonflement des granules, perte d'ordre cristallin, lixiviation de l'amylose et changement de viscosité, autant d'éléments qui conditionnent l'efficacité de l'alpha-amylase thermostable [2].

pH, ions et composition du milieu

Le pH influence la charge des acides aminés du site actif, la conformation de l'enzyme et l'état ionique du substrat. Les sels et ions peuvent également modifier la stabilité ou l'interaction enzyme-substrat ; les études sur les systèmes amidon-alpha-amylase thermostable-calcium en bioextrusion montrent que le type d'anion peut affecter l'hydrolyse dans un environnement solide ou faiblement hydraté [5].

Les ingrédients annexes jouent aussi un rôle. Des polyphénols et composés végétaux comme l'EGCG, la quercétine, l'acide chlorogénique ou des colorants naturels ont été étudiés pour leur capacité à ralentir ou inhiber l'hydrolyse de l'amidon par l'alpha-amylase, par interaction avec l'enzyme, le substrat ou les deux [9][10][11].

Produits de réaction et inhibition

L'hydrolyse n'est pas toujours une réaction linéaire où l'enzyme conserve la même efficacité jusqu'à épuisement du substrat. L'accumulation de produits peut modifier la cinétique ; la modélisation de l'hydrolyse de l'amidon de maïs gélatinisé a notamment examiné l'inhibition de l'alpha-amylase par le

glucose, montrant que les produits formés peuvent influencer la vitesse apparente de conversion [1].

Dans un procédé réel, cette observation justifie une distinction entre liquéfaction courte et conversion prolongée. Lorsque l'objectif est la baisse de viscosité, une hydrolyse partielle peut suffire ; lorsque l'objectif est la production élevée de sucres fermentescibles, la réaction devient plus sensible aux équilibres de produits, aux enzymes complémentaires et aux conditions de saccharification [1].



Figure 7. Différents substrats riches en amidon peuvent subir la même réaction de clivage des liaisons α -1,4 tout en produisant des résultats de transformation adaptés à chaque application.

Tableau d'aide à l'interprétation par application

Application	Objectif technique principal	Contribution de l'alpha-amylase thermostable	Points de vigilance
Liquéfaction d'amidon	Réduire la viscosité d'une pâte chaude	Coupure interne des chaînes α -1,4, formation de dextrans	Accessibilité du substrat, pH, ions, temps de contact
Sirops et bases glucidiques	Préparer une saccharification ultérieure	Production de dextrans plus faciles à convertir	Nécessité possible d'enzymes complémentaires
Fermentation céréalière	Rendre l'amidon plus utilisable	Libération de fragments glucidiques et baisse de viscosité	Profil de sucres fermentescibles non garanti par l'alpha-amylase seule

Application	Objectif technique principal	Contribution de l'alpha-amylase thermostable	Points de vigilance
Papier et encollage	Ajuster viscosité et propriétés de l'amidon	Hydrolyse contrôlée des polymères amylicés	Le mode d'action enzymatique influence les propriétés finales
Formulations céréalières ou extrudées	Modifier la structure amidon dans une matrice complexe	Hydrolyse possible en conditions thermiques et contraintes	Eau disponible, sels, composition de la matrice

Ce tableau résume une logique commune : l'alpha-amylase thermostable est surtout un outil de réduction de taille moléculaire et de fluidification. Les propriétés finales dépendent ensuite de la matrice, de la présence d'autres enzymes et de la cible industrielle, comme le montre la diversité des résultats observés dans les systèmes de papier, fermentation, oligosaccharides et bioextrusion ^{[6][3][5]}.

Limites techniques à prendre en compte

Une alpha-amylase thermostable ne transforme pas automatiquement tout l'amidon en glucose. En tant qu'endo-amylase, elle produit d'abord un mélange de fragments de différentes longueurs ; pour obtenir une saccharification poussée, d'autres enzymes peuvent être nécessaires selon le niveau de conversion recherché et la structure de l'amylopectine ^[3].

L'enzyme n'agit pas non plus de façon identique sur l'amidon natif et sur l'amidon gélatinisé. Les travaux sur les amylases capables de dégrader l'amidon cru montrent que la spécificité de ciblage du substrat et la modification des granules sont des sujets distincts de la simple hydrolyse d'un amidon déjà gélatinisé ; l'état physique du granule détermine donc fortement l'efficacité observée ^[12].

Les inhibiteurs ou co-ingrédients peuvent ralentir l'hydrolyse. Plusieurs études récentes ont examiné comment des composés phénoliques, pigments végétaux ou celluloses nanocristallines peuvent interagir avec l'alpha-amylase ou l'amidon et réduire la digestion enzymatique. Ces résultats sont utiles pour comprendre les écarts de performance dans des matrices alimentaires complexes riches en fibres, polyphénols ou particules colloïdales ^{[13][14]}.

Enfin, les publications scientifiques décrivent des enzymes, matières premières et conditions expérimentales précises. Elles démontrent les principes mécanistiques — hydrolyse α -1,4, rôle de l'accessibilité, effet des traitements thermiques, influence de la matrice — mais ne remplacent pas les documents associés au produit commandé, notamment le certificat d'analyse et la fiche de données de sécurité fournis avec la commande.

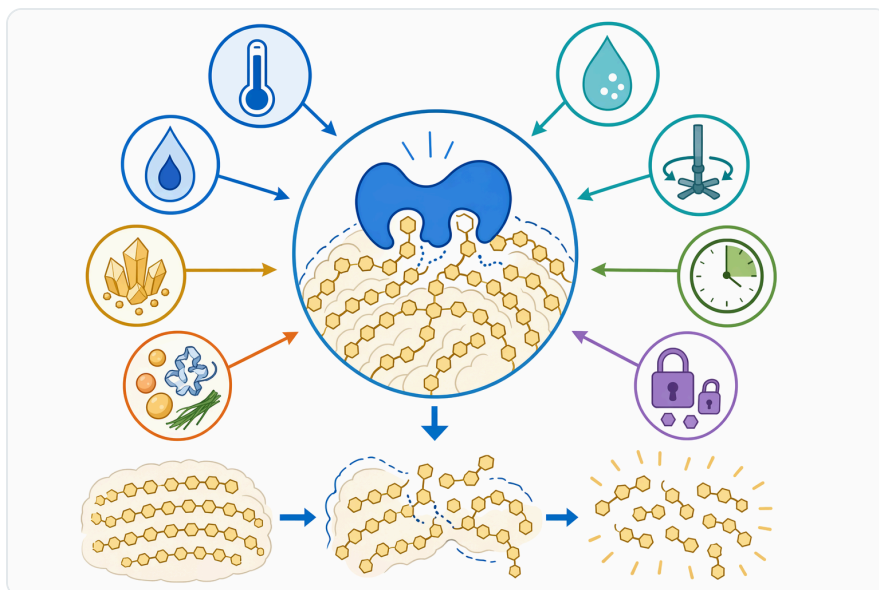


Figure 8. Les performances de l'alpha-amylase dépendent de l'accessibilité du substrat et des conditions de la matrice, notamment l'historique thermique, le pH, le mélange, l'humidité, les inhibiteurs et les composants non amylacés.

Positionnement du produit fourni par Enzymes.bio

Thermostable Alpha Amylase Enzyme Liquid For Starch Hydrolysis Processing est une préparation liquide destinée aux utilisateurs qui recherchent une enzyme de liquéfaction de l'amidon sous forme pratique. Enzymes.bio la propose directement en ligne par unité de 1 kg ; le produit s'inscrit dans une logique d'achat simple pour les applications de transformation où une alpha-amylase thermostable liquide est pertinente.

Enzymes.bio intervient comme fournisseur en ligne, et non comme fabricant ou laboratoire. Les documents fournis avec la commande — certificat d'analyse et fiche de données de sécurité — sont les références documentaires associées au lot reçu ; les mécanismes et exemples scientifiques présentés ici servent à contextualiser l'usage industriel des alpha-amylases thermostables sans constituer des spécifications de fabrication.

Synthèse technique

L'alpha-amylase thermostable liquide est principalement utilisée pour hydrolyser l'amidon en conditions de procédé, fluidifier les pâtes amylacées et produire des dextrans ou malto-oligosaccharides exploitables en aval. Son mode d'action interne sur les liaisons α -1,4 explique la réduction rapide de viscosité, tandis que la thermostabilité la rend adaptée aux étapes où le chauffage améliore l'accessibilité de l'amidon ^{[1][5]}.

Les recherches disponibles confirment que la performance dépend fortement de la structure du substrat, de la gélatinisation, des ions, des co-ingrédients et de l'objectif de conversion. Pour la liquéfaction, l'alpha-amylase thermostable est un outil central ; pour la production ciblée de glucose, d'oligosaccharides spécifiques, de substrats fermentescibles ou d'amidons fonctionnels, elle s'intègre souvent dans un système enzymatique ou un procédé plus large ^{[4][6][3]}.

Commander Thermostable Alpha Amylase Enzyme Liquid For Starch Hydrolysis Processing 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 Enzyme Liquid For Starch Hydrolysis Processing →](#)

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. Vernon-Carter, E. J., Álvarez-Ramírez, J., Meraz, M., & Garcia-Diaz, S. (2019). Gaining insights into α -amylase inhibition by glucose through mathematical modeling and analysis of the hydrolysis kinetics of gelatinized corn starch dispersions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 766-771 .
2. Wu, Y., Liu, Y., Jia, Y., Ren, F., & Zhou, S. (2025). Effect of different thermal treatments on starch digestion of Tsamba (Highland barley products): Insights from starch structural properties and enzyme activity. *Food Chemistry*, 473, 143054 .
3. Zhong, L., Wang, P., Jiang, M., Zheng, Y., Xu, X., Ye, X., Huang, Y., ... et al. (2025). Synergistic action of novel maltohexaose-forming amylase and branching enzyme improves the enzymatic conversion of starch to specific maltooligosaccharide. *Carbohydrate Polymers*, 347, 122753 .
4. Fan, Y., Ma, M., Zhang, X., Du, S., Sui, Z., & Corke, H. (2026). Mechanism of α -amylase hydrolysis in maize and potato starches: Insight into outer shells and inner blocklets. *Food Chemistry*, 522, 149966 .
5. Xu, E., Li, D., Cheng, H., Zhao, H., Tian, J., Wu, Z., Chen, S., ... et al. (2020). Effect of anion type on enzymatic hydrolysis of starch-(thermostable α -amylase)-calcium system in a low-moisture solid microenvironment of bioextrusion. *Carbohydrate Polymers*, 240, 116331 .
6. 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 .

7. Kalita, D., Bhattacharya, S., & Srivastava, B. (2018). Predicting enzymatic starch hydrolysis mechanism during paddy malting by vibrational spectroscopy and multivariate calibration analysis. *Food Chemistry*, 259, 89-98 .
8. Motahar, S. Y. S., Tiyoula, F. N., Motamedi, E., Zeinalabedini, M., Kavousi, K., & Ariaeenejad, S. (2023). Computational Insights into the Selecting Mechanism of α -Amylase Immobilized on Cellulose Nanocrystals: Unveiling the Potential of α -Amylases Immobilized for Efficient Poultry Feed Hydrolysis. *Bioconjugate chemistry*.
9. Liu, Y., Wang, Y., Sheng, Z., Du, Q., & Zhang, H. (2024). New insights into EGCG retards the digestion of wheat starch by α -amylase in ternary system: Comparison with binary systems. *International Journal of Biological Macromolecules*, 137639 .
10. Günal-Köroğlu, D., Catakaya, G., Yusufoglu, B., Kezer, G., Esatbeyoglu, T., El-Aty, A. M. A., & Çapanoğlu, E. (2024). Quercetin: Potential antidiabetic effects through enzyme inhibition and starch digestibility. *Food Safety and Health*.
11. Wang, Y., Wang, D., Xing, M., Ji, M., Jiang, X., Jia, L., Li, L., ... et al. (2025). Effect and mechanism of chlorogenic acid inhibition of starch enzymatic hydrolysis: Comparison of different processing methods. *Food chemistry: X*, 29.
12. Zhong, L., Chang, W., Yang, K., Jiang, S., Jing-Lin, Shu, Y., Zhong, Y., ... et al. (2026). Mechanisms underlying the modification of corn starch granules by raw starch-degrading amylase with substrate-targeting specificity. *Carbohydrate Polymers*, 386, 125442 .
13. Ren, S., Wan, Y., Zhu, X., Liu, Z., Zhao, W., Xie, D., & Wang, S. (2022). Influence of gardenia yellow on in vitro slow starch digestion and its action mechanism. *RSC Advances*, 12, 6738 - 6747.
14. Long, D., Ma, Q., Guo, D., Hu, Y., Guo, J., Wang, R., Wang, P., ... et al. (2025). Inhibition mechanism of α -amylase and amyloglucosidase by spherical nanocrystalline cellulose with varying particle sizes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 144041 .

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.