

# Thermostable Alpha Amylase Enzyme For Industrial Ethanol Production : liquéfaction de l'amidon, saccharification et bioéthanol industriel

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

La **Thermostable Alpha Amylase Enzyme For Industrial Ethanol Production** est utilisée pour liquéfier les suspensions riches en amidon avant la saccharification et la fermentation alcoolique. Elle fragmente les chaînes d'amidon en dextrans plus courtes, diminue la viscosité des moûts céréaliers ou tubercules amylicés, et prépare le substrat pour la production industrielle d'éthanol. Enzymes.bio la propose comme fournisseur en ligne, en unité de **1 kg**, avec **CoA** et **SDS** fournis avec la commande .

## Rôle technique de l'alpha-amylase thermostable dans l'éthanol industriel

Dans un procédé d'éthanol à partir de matières premières amylicées, l'alpha-amylase thermostable intervient principalement à l'étape de **liquéfaction**. Les matières comme le maïs, le blé, le sorgho, le manioc, la patate douce, certaines ignames ou des résidus riches en amidon doivent d'abord être hydratées, chauffées et rendues accessibles. Cette opération provoque la gélification de l'amidon, mais aussi une forte augmentation de viscosité. L'alpha-amylase coupe alors les chaînes glucidiques internes, ce qui transforme une suspension épaisse en une matrice plus fluide et plus facilement hydrolysable <sup>[1]</sup>.

Le terme **thermostable** est décisif, car la liquéfaction industrielle se déroule dans des conditions thermiques où beaucoup de protéines enzymatiques perdraient rapidement leur fonctionnalité. Les alpha-amylases thermostables étudiées chez des bactéries du genre *Bacillus*, chez *Geobacillus* ou dans d'autres systèmes biologiques sont recherchées précisément pour leur maintien d'activité dans des environnements de procédé plus sévères que ceux de nombreuses enzymes mésophiles <sup>[2][3][4]</sup>. Dans l'éthanol industriel, cette robustesse permet d'insérer l'enzyme dans une séquence où cuisson, empâtage, transfert thermique et réduction de viscosité sont fortement liés.

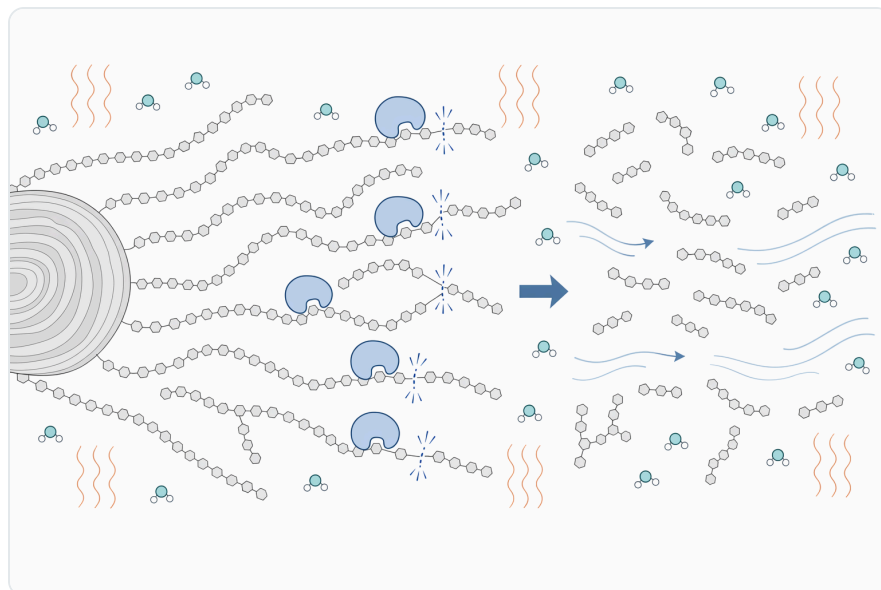
L'alpha-amylase ne remplace pas la fermentation. Elle ne transforme pas directement l'amidon en éthanol : elle prépare le substrat pour que d'autres étapes puissent fonctionner efficacement. Après liquéfaction, des enzymes de saccharification, souvent à activité glucoamylase ou complémentaires,

poursuivent la conversion des dextrines vers des sucres fermentescibles, que les levures ou autres microorganismes convertissent ensuite en éthanol [5][6].

## Mécanisme enzymatique : comment l'alpha-amylase fluidifie l'amidon

L'amidon est composé principalement d'**amylose**, chaîne relativement linéaire de résidus glucose, et d'**amylopectine**, polymère ramifié. L'alpha-amylase agit comme une endo-enzyme : elle hydrolyse des liaisons internes de type  $\alpha$ -1,4 dans ces polymères, générant des fragments plus courts, notamment dextrines et oligosaccharides. Cette action interne explique pourquoi la viscosité chute rapidement : les longues chaînes responsables de l'épaississement sont fragmentées en molécules plus mobiles [1].

Dans une suspension de céréales chauffée, les granules d'amidon gonflent et libèrent progressivement leurs polymères. Sans hydrolyse, cette masse gélatinisée peut devenir difficile à agiter, pomper ou chauffer uniformément. L'alpha-amylase thermostable intervient au moment où l'amidon devient accessible, mais où la température reste élevée. En coupant les chaînes au cœur de la matrice, elle réduit les contraintes mécaniques du procédé et améliore la disponibilité des fragments pour la saccharification [3].



**Figure 1.** L'alpha-amylase thermostable liquéfie l'amidon en clivant les liaisons glycosidiques  $\alpha$ -1,4 internes de l'amylose et de l'amylopectine pour former des dextrines et des malto-oligosaccharides.

Cette action doit être distinguée de celle d'une glucoamylase. L'alpha-amylase produit surtout un mélange de dextrines et d'oligosaccharides ; elle ouvre la structure et accélère la liquéfaction. La glucoamylase, elle, est généralement utilisée plus loin pour libérer davantage de glucose fermentescible

à partir des extrémités des chaînes. Les approches intégrées combinant enzymes amylolytiques et microorganismes fermentaires sont d'ailleurs au centre de plusieurs travaux récents sur l'éthanol à partir de substrats amylacés <sup>[5][6]</sup>.

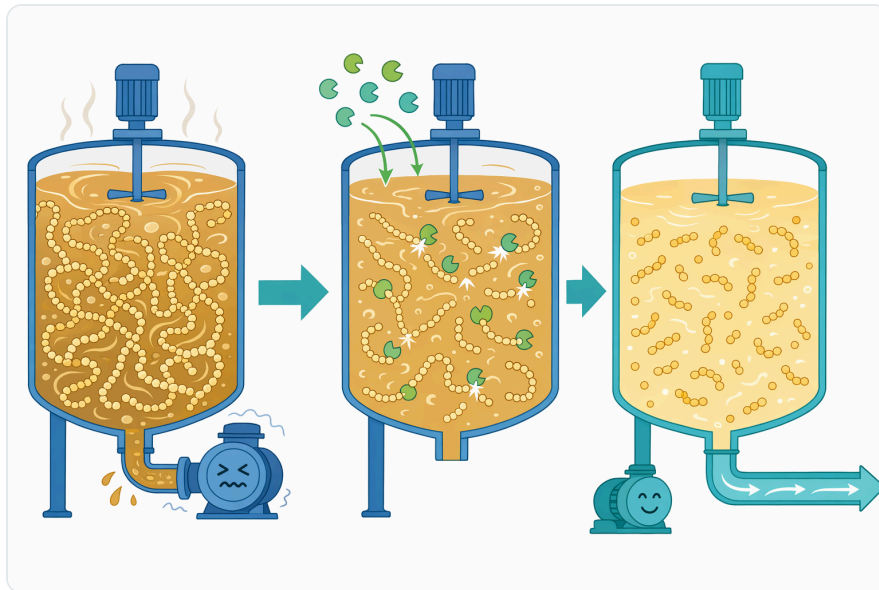
## Pourquoi la thermostabilité compte dans la liquéfaction

---

La thermostabilité n'est pas seulement une caractéristique de laboratoire ; c'est un paramètre de procédé. Pendant la cuisson et l'empâtage, l'amidon doit être suffisamment hydraté et désorganisé pour devenir hydrolysable. Si l'enzyme est trop sensible à la chaleur, elle perd sa capacité d'action précisément au moment où le substrat devient disponible. Une alpha-amylase thermostable permet donc de rapprocher la phase de déstructuration thermique de la phase d'hydrolyse enzymatique <sup>[2][3]</sup>.

Les sources microbiennes de type *Bacillus* sont fréquemment étudiées pour cette raison. Des travaux ont caractérisé des alpha-amylases thermostables produites par *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium* ou d'autres isolats thermotolérants, avec un intérêt récurrent pour les conditions industrielles chaudes et les substrats riches en amidon <sup>[2][3][7]</sup>. La littérature récente continue aussi d'explorer des isolats issus de composts, de sources chaudes ou d'environnements riches en matière organique, car ces milieux favorisent parfois des enzymes naturellement adaptées à la chaleur <sup>[8][9]</sup>.

La thermostabilité peut aussi influencer l'économie de procédé de manière indirecte. Une enzyme active dans une fenêtre chaude peut soutenir une liquéfaction plus rapide, réduire les problèmes de surviscosité et limiter les pertes de performance liées à des variations de température. Toutefois, les performances exactes dépendent du substrat, du temps de contact, du pH, de la teneur en solides et de l'intégration avec les étapes suivantes ; elles ne doivent pas être extrapolées mécaniquement à partir d'une seule étude <sup>[10][1]</sup>.



**Figure 2.** La coupure des longues chaînes d'amidon hydratées en fragments plus courts réduit la viscosité du moût et améliore son aptitude au traitement.

## Étapes du procédé amidon-éthanol et place de l'enzyme

Dans un schéma classique de production d'éthanol à partir d'amidon, la matière première est d'abord réduite en particules, mélangée à l'eau puis chauffée. Cette préparation augmente l'accessibilité de l'amidon, mais crée un milieu visqueux. L'alpha-amylase thermostable est alors utilisée pour liquéfier la suspension, former des dextrans et faciliter la suite du procédé <sup>[1]</sup>.

La saccharification convertit ensuite ces fragments en sucres plus fermentescibles. Dans certains procédés, saccharification et fermentation sont séparées ; dans d'autres, elles sont conduites simultanément afin que les sucres libérés soient consommés progressivement par les microorganismes. Des études récentes sur l'amidon de blé et sur d'autres matrices amylicées examinent précisément ces stratégies de saccharification et fermentation simultanées pour le bioéthanol <sup>[6]</sup>.

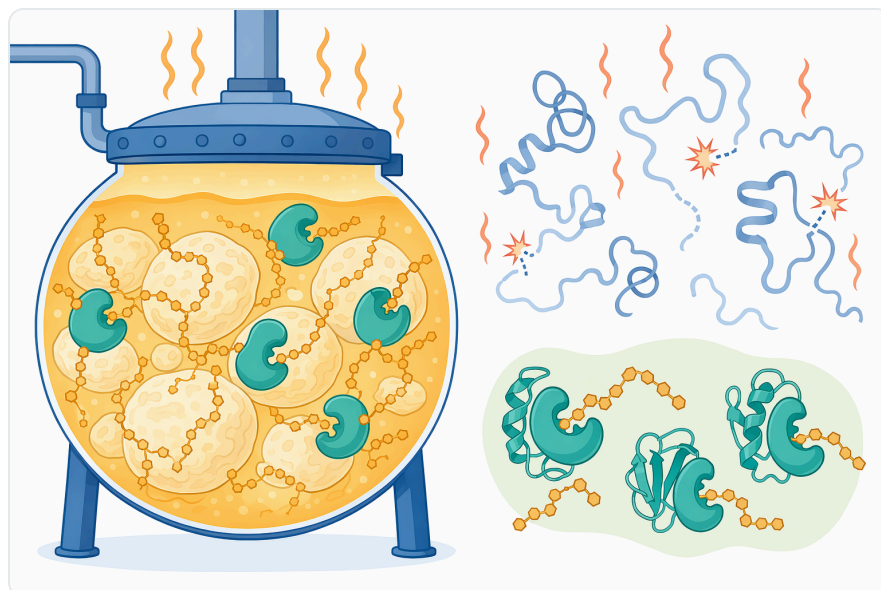
La fermentation transforme enfin les sucres en éthanol. Les levures du type *Saccharomyces cerevisiae* restent centrales dans de nombreux procédés, mais des travaux explorent aussi des souches amylolytiques, des levures modifiées ou des systèmes consolidés où hydrolyse et fermentation sont plus étroitement couplées. Une étude de 2024 a par exemple construit une souche de *Saccharomyces cerevisiae* intégrant de nombreuses copies de gènes d'alpha-amylase et de glucoamylase pour produire du bioéthanol à partir de résidus de patate douce <sup>[5]</sup>.

Étape du procédé	Objectif principal	Rôle de l'alpha-amylase thermostable	Résultat attendu dans la chaîne éthanol
Broyage et empâtage	Mettre l'amidon en suspension aqueuse	Pas d'action enzymatique majeure si le substrat n'est pas encore accessible	Préparation physique de la matière première
Chauffage / gélatinisation	Ouvrir la structure des granules d'amidon	L'enzyme doit résister à l'environnement chaud si elle est ajoutée à ce stade	Amidon plus accessible mais viscosité élevée
Liquéfaction	Réduire la longueur des chaînes d'amidon	Hydrolyse interne des polymères en dextrans plus courts	Baisse de viscosité et meilleure pompabilité
Saccharification	Produire des sucres fermentescibles	L'alpha-amylase prépare le substrat ; d'autres enzymes complètent l'hydrolyse	Formation de sucres utilisables par les microorganismes
Fermentation	Convertir les sucres en éthanol	Rôle indirect, via la qualité de la liquéfaction et de la saccharification	Production d'éthanol industriel

## Matières premières compatibles avec une approche amylolytique

Les procédés d'éthanol basés sur l'amidon ne se limitent pas à une seule matière première. Les céréales comme le maïs, le blé et le sorgho sont des matrices classiques, mais les tubercules et résidus amyacés sont également étudiés. La logique reste la même : rendre l'amidon accessible, le liquéfier par alpha-amylase, convertir les fragments en sucres fermentescibles, puis fermenter <sup>[6][11]</sup>.

Le sorgho illustre cette diversité. Des recherches récentes ont étudié la production de bioéthanol à partir de farine de sorgho en combinant saccharification et fermentation, avec des souches de levures telles que *Pichia* et *Meyerozyma guilliermondii*. Ces approches confirment l'intérêt des matrices céréalières autres que le maïs pour des procédés amylolytiques adaptés <sup>[12]</sup>.



**Figure 3.** La thermostabilité permet à l’alpha-amylase de conserver sa structure catalytique pendant la liquéfaction à chaud de l’amidon, lorsque l’amidon gélatinisé est le plus accessible.

Les tubercules amyliacés constituent une autre famille importante. Des travaux sur *Dioscorea* spp. ont évalué le potentiel de ces ignames pour la production de bioéthanol par hydrolyse séparée et fermentation, tandis que d’autres travaux ont étudié des substrats comme la patate douce ou le manioc dans des schémas de conversion en éthanol [5][11][13]. Pour ces matières premières, la structure granulaire, la teneur en fibres et la présence de composés non amyliacés peuvent modifier l’efficacité de la liquéfaction.

Les résidus agricoles et coproduits représentent aussi un champ actif. Une alpha-amylase de *Bacillus licheniformis* AT70 a été étudiée en fermentation solide en utilisant des déchets agricoles, avec caractérisation d’une activité sur amidon natif et activation par calcium dans le système étudié [3]. Ces recherches ne signifient pas que toutes les préparations enzymatiques se comportent de la même manière, mais elles montrent que l’hydrolyse de l’amidon est pertinente pour des flux industriels variés.

## Substrats et scénarios de production d’éthanol documentés

Substrat ou matrice étudiée	Approche décrite dans la littérature	Intérêt pour l’utilisateur industriel	Sources
Résidu de patate douce	Souche de <i>S. cerevisiae</i> intégrant des gènes d’alpha-amylase et de glucoamylase	Exemple de couplage entre hydrolyse amylolytique et fermentation	[5]

Substrat ou matrice étudiée	Approche décrite dans la littérature	Intérêt pour l'utilisateur industriel	Sources
Farine de sorgho	Saccharification et fermentation simultanées avec levures sélectionnées	Valorisation d'une céréale riche en amidon hors maïs	[12]
Amidon de blé	Saccharification et fermentation simultanées pour bioéthanol	Cas représentatif d'une matrice céréalière industrielle	[6]
<i>Dioscorea</i> spp.	Hydrolyse séparée puis fermentation	Potentiel des tubercules amylicés pour l'éthanol	[11]
Chips de manioc cru	Saccharification par enzymes dégradant l'amidon natif dans un contexte éthanol	Exemple de substrat tropical amylicé nécessitant une bonne accessibilité enzymatique	[13]
Microalgues de type <i>Chlorella</i>	Hydrolyse séparée et fermentation, avec étude cinétique	Montre l'extension des schémas hydrolyse-fermentation à des biomasses non céréalières	[14]

## Interaction avec la saccharification et la fermentation

La qualité de la liquéfaction influence la saccharification. Si l'amidon reste sous forme de chaînes longues ou de granules peu accessibles, les enzymes ultérieures rencontrent une surface d'attaque limitée et un milieu difficile à mélanger. Une alpha-amylase thermostable bien intégrée réduit ce verrou en créant des fragments plus courts et plus dispersés. Cela ne garantit pas à lui seul un rendement final, mais augmente la compatibilité du substrat avec les étapes qui suivent <sup>[1]</sup>.

La fermentation dépend ensuite de la disponibilité de sucres assimilables. Les levures fermentaires classiques ne consomment pas efficacement l'amidon polymérique intact ; elles ont besoin que celui-ci soit transformé en sucres ou en fragments utilisables selon leur équipement enzymatique. Les travaux combinant alpha-amylase, glucoamylase et fermentation montrent pourquoi la conversion enzymatique en amont est un déterminant majeur de la production d'éthanol <sup>[5][6]</sup>.

Les procédés de type SSF, pour **simultaneous saccharification and fermentation**, cherchent à synchroniser la libération des sucres et leur consommation par les microorganismes. Cette stratégie peut réduire l'accumulation de sucres intermédiaires et simplifier certaines opérations, mais elle impose de trouver des conditions compatibles à la fois avec les enzymes et avec les cellules fermentaires. Les études sur l'amidon de blé et la farine de sorgho illustrent l'intérêt de cette intégration, tout en montrant qu'elle doit être adaptée à chaque matrice <sup>[12][6]</sup>.



**Figure 4.** La production d'éthanol à partir d'amidon distingue la cuisson, la liquéfaction par l'alpha-amylase, la saccharification, la fermentation et la récupération de l'éthanol en étapes de procédé distinctes.

## Origines biologiques et diversité des alpha-amylases thermostables

Les alpha-amylases thermostables ne forment pas une famille uniforme. Leur origine biologique influence leur profil de stabilité, leur comportement vis-à-vis du pH, leur dépendance éventuelle aux ions métalliques, leur action sur l'amidon gélatinisé ou natif, et leur tolérance aux composants du procédé. Les espèces de *Bacillus* sont largement représentées dans les travaux de caractérisation, car elles sécrètent des enzymes extracellulaires adaptées aux applications industrielles [2][15][16].

*Bacillus licheniformis* est souvent cité dans le contexte des amylases industrielles. Une étude sur *B. licheniformis* AT70 décrit une alpha-amylase thermostable, activée par  $\text{CaCl}_2$  et capable d'hydrolyser l'amidon natif, produite en fermentation solide à partir de déchets agricoles [3]. Cette combinaison — thermostabilité, activité sur substrat peu transformé et production à partir de matières peu coûteuses — explique l'intérêt scientifique continu pour ce type d'organisme.

D'autres travaux portent sur *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*, des isolats de compost, ou encore *Geobacillus*. Une alpha-amylase recombinante thermostable issue de *Geobacillus* sp. DS3 a par exemple été caractérisée et appliquée à la production d'amidon poreux, ce qui montre la capacité de certaines enzymes thermostables à modifier finement la structure granulaire de l'amidon [4]. Même lorsque l'application n'est pas directement l'éthanol, ces résultats éclairent les mécanismes d'accessibilité enzymatique utiles à la liquéfaction.

Les sources végétales sont aussi explorées. Des travaux récents ont examiné une alpha-amylase issue de graines germées de *Cucurbita moschata* pour une application potentielle en bioéthanol écoresponsable, et une autre étude a caractérisé une alpha-amylase d'*Avena fatua* pour des applications biotechnologiques [17][18]. Ces exemples montrent que la thermostabilité et l'utilité industrielle ne sont pas exclusivement microbiennes, même si les enzymes bactériennes restent très présentes dans les procédés à grande échelle.



**Figure 5.** L'alpha-amylase thermostable est pertinente pour les matières premières riches en amidon destinées à la production d'éthanol, notamment le maïs, le manioc, le sorgho, le riz, le sagou, les résidus de tapioca et les déchets alimentaires.

## Paramètres de procédé à maîtriser sans surspécifier

L'efficacité d'une alpha-amylase thermostable dépend d'abord de l'accessibilité de l'amidon. Un amidon insuffisamment hydraté ou peu gélatinisé expose moins de liaisons aux enzymes ; à l'inverse, une gélatinisation non contrôlée peut générer une masse trop visqueuse avant que l'enzyme ne puisse la fluidifier. La séquence d'ajout, le mélange et le transfert thermique sont donc importants, sans qu'il soit nécessaire de les réduire à une valeur unique valable pour tous les équipements [1].

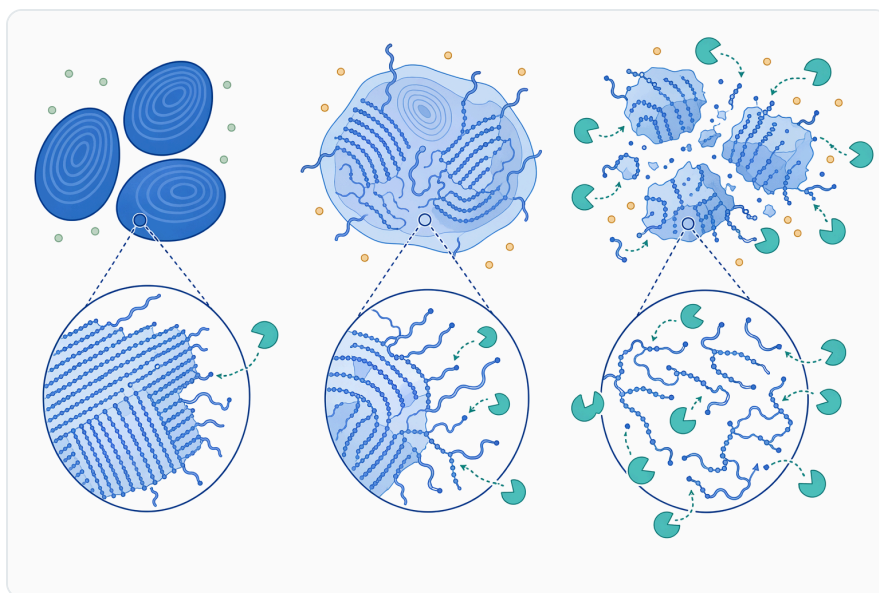
Le pH influence également la conformation et la charge des acides aminés du site actif. Les alpha-amylases étudiées dans la littérature présentent des profils différents selon leur origine biologique ; certaines sont adaptées à des conditions proches de la neutralité, d'autres à des environnements plus acides ou plus alcalins. Les travaux d'optimisation sur des souches de *Bacillus* soulignent cette variabilité et l'importance d'associer l'enzyme au contexte de procédé approprié [15][16][19].

Les ions métalliques, notamment le calcium, peuvent stabiliser certaines alpha-amylases, mais ce comportement n'est pas universel. L'étude sur *Bacillus licheniformis* AT70 mentionne une enzyme activée par  $\text{CaCl}_2$ , tandis que d'autres alpha-amylases peuvent présenter des dépendances différentes [3]. Pour l'utilisateur industriel, la conclusion pratique est que la chimie du milieu — eau de procédé, sels, contaminants, composants de la matière première — peut modifier l'expression réelle de la thermostabilité.

La présence d'inhibiteurs doit aussi être prise en compte. Des composés phénoliques ou autres molécules issues des matières premières peuvent interagir avec les enzymes. Une étude récente a analysé le mécanisme d'inhibition de l'alpha-amylase par l'acide caféique à l'aide d'approches in vitro et in silico, ce qui rappelle que certaines matrices végétales ne sont pas de simples mélanges d'amidon et d'eau [20]. Dans les substrats complexes, la performance enzymatique dépend donc aussi des composants mineurs.

## Alpha-amylase seule ou combinaison enzymatique

Dans la production d'éthanol, l'alpha-amylase thermostable est rarement l'unique outil enzymatique. Elle est prioritairement une enzyme de liquéfaction : elle ouvre la structure, réduit la taille des polymères et améliore la fluidité. Pour obtenir une forte proportion de sucres fermentescibles, elle est généralement combinée à des activités de saccharification, notamment glucoamylase, et parfois à d'autres enzymes selon la matière première [5][6].



**Figure 6.** La structure des granules, la gélatinisation et la désorganisation physique influencent la facilité avec laquelle l'alpha-amylase peut atteindre les liaisons  $\alpha$ -1,4 de l'amidon.

La combinaison d'enzymes peut produire des effets non simplement additifs. Une étude sur les mélanges d'alpha- et bêta-amylases a examiné un mécanisme allostérique de synergie, montrant que l'interaction entre enzymes amylolytiques peut influencer la dégradation du substrat <sup>[21]</sup>. Dans un contexte industriel, cela justifie de raisonner en système enzymatique plutôt qu'en enzyme isolée, surtout lorsque l'objectif est la conversion complète vers des sucres fermentescibles.

L'ajout d'enzymes débranchantes peut aussi être pertinent dans certains procédés, car l'amylopectine contient des ramifications  $\alpha$ -1,6 que l'alpha-amylase ne traite pas de la même manière que les liaisons  $\alpha$ -1,4 internes. Même si le produit ici est centré sur l'alpha-amylase thermostable, la performance finale d'un procédé amidon-éthanol dépend donc de l'ensemble de la chaîne : liquéfaction, saccharification, fermentation et distillation <sup>[1]</sup>.

## Bénéfices opérationnels pour une usine d'éthanol

---

Le premier bénéfice est la **réduction de viscosité**. Une suspension d'amidon trop épaisse augmente la charge mécanique de l'agitation, complique le pompage, rend les transferts thermiques moins homogènes et peut créer des zones de traitement inégal. En fragmentant les polymères, l'alpha-amylase thermostable agit directement sur la cause moléculaire de cette viscosité <sup>[1]</sup>.

Le deuxième bénéfice est l'**amélioration de l'accessibilité du substrat**. Les dextrines produites par liquéfaction offrent davantage d'extrémités et de surfaces d'attaque aux enzymes de saccharification. Cette préparation conditionne la disponibilité des sucres pour les microorganismes fermentaires, ce qui explique pourquoi l'hydrolyse enzymatique est un thème récurrent dans les études de bioéthanol à partir d'amidon <sup>[5][6][11]</sup>.

Le troisième bénéfice est la **compatibilité avec les étapes chaudes**. Dans un procédé où l'amidon doit être chauffé pour devenir disponible, une enzyme thermostable évite de séparer excessivement la déstructuration thermique et la liquéfaction enzymatique. Les travaux sur les amylases thermostables de *Bacillus* et de *Geobacillus* confirment que cette propriété est activement recherchée pour les applications biotechnologiques et industrielles <sup>[2][4][7]</sup>.



**Figure 7.** L'éthanol à base d'amidon repose sur la liquéfaction et la saccharification amylolytiques, tandis que l'éthanol lignocellulosique nécessite un prétraitement ainsi que des systèmes à cellulases ou hémicellulases.

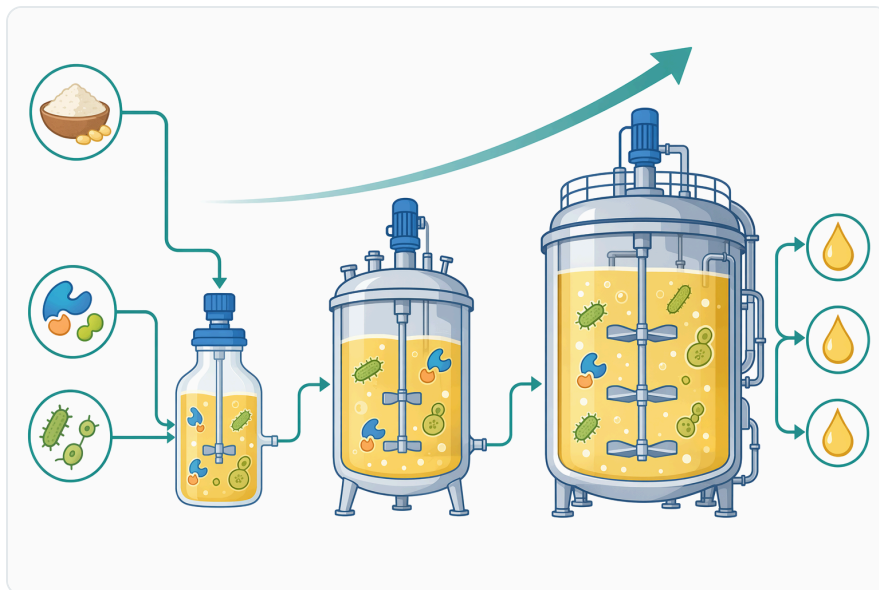
Le quatrième bénéfice est la **flexibilité matière première**. Les études disponibles couvrent des céréales, des tubercules, des résidus agricoles et des matrices plus atypiques. Cela ne signifie pas qu'un même réglage convient à tous les substrats, mais cela confirme que la logique amylolytique est applicable à de nombreuses chaînes de production d'éthanol dès lors que l'amidon constitue une fraction convertible [12][11][13].

## Limites et points de vigilance techniques

Une alpha-amylase thermostable ne compense pas une mauvaise préparation du substrat. Si les particules sont trop grossières, si l'eau n'est pas correctement distribuée ou si la gélatinisation est incomplète, l'enzyme peut rencontrer une matrice partiellement inaccessible. Les procédés de production et d'optimisation d'amylases montrent que la performance dépend toujours de multiples variables, y compris la nature du substrat et les conditions de croissance ou d'application de l'enzyme [16][10].

Elle ne garantit pas non plus, à elle seule, le rendement final en éthanol. Le rendement dépend de la libération de sucres fermentescibles, de la santé des microorganismes, de la tolérance à l'éthanol, de la gestion des contaminants, de la distillation et de la composition de la matière première. Les études sur la fermentation de l'amidon de blé, du sorgho ou de résidus de patate douce montrent que l'hydrolyse enzymatique est essentielle, mais intégrée dans une chaîne biologique plus large [5][12][6].

Enfin, la thermostabilité n'est pas synonyme d'invulnérabilité. Les enzymes restent des protéines : elles peuvent être affectées par des pH extrêmes, des oxydants, des inhibiteurs végétaux, certains solvants ou des conditions de cisaillement et de stockage non appropriées. Les publications sur la caractérisation d'amylases insistent justement sur les profils spécifiques de stabilité, qui varient d'une enzyme à l'autre [2][7][18].



**Figure 8.** Les travaux publiés sur la conversion de l'amidon en éthanol incluent l'hydrolyse et la fermentation combinées, évaluées de l'échelle du laboratoire jusqu'aux volumes de fermenteurs pilotes et industriels.

## Positionnement Enzymes.bio et informations de commande

Enzymes.bio agit comme **fournisseur en ligne** d'enzymes, sans se présenter comme fabricant ni laboratoire. La Thermostable Alpha Amylase Enzyme For Industrial Ethanol Production est destinée aux utilisateurs techniques qui cherchent une enzyme de liquéfaction pour des procédés liés à l'amidon, aux dextrines, à la saccharification et au bioéthanol industriel .

Le produit est vendu directement en ligne par unité de **1 kg**. Après commande, le **certificat d'analyse** — **CoA** — et la **fiche de données de sécurité** — **SDS** — sont fournis avec la commande. Ces documents accompagnent l'utilisation et la manipulation du produit, tandis que l'intégration réelle dans le procédé dépend de la matière première, de l'équipement et de la stratégie de saccharification-fermentation.

## Synthèse technique

La **Thermostable Alpha Amylase Enzyme For Industrial Ethanol Production** est un outil de procédé pour transformer une suspension d'amidon chaude et visqueuse en un substrat liquéfié, plus accessible aux enzymes de saccharification. Son mécanisme repose sur l'hydrolyse interne des chaînes  $\alpha$ -1,4 de l'amidon, avec production de dextrans et d'oligosaccharides qui facilitent la suite de la conversion <sup>[1]</sup>.

Les preuves scientifiques soutiennent fortement le rôle des alpha-amylases dans l'hydrolyse de l'amidon, l'intérêt des formes thermostables pour les environnements industriels chauds et l'importance de l'hydrolyse enzymatique dans la production d'éthanol à partir de substrats amylacés <sup>[2][3][6]</sup>. Les performances finales restent dépendantes du substrat, du procédé et de la combinaison enzymatique utilisée, mais le rôle central de la liquéfaction est clair : rendre l'amidon moins visqueux, plus accessible et plus compatible avec une conversion industrielle vers l'éthanol.

### Commander Thermostable Alpha Amylase Enzyme For Industrial Ethanol Production 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 For Industrial Ethanol Production →](#)

## 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. Oyenado, O., & Omoruyi, I. (2024). Review of amylase production by microorganisms and their industrial application. *Ife Journal of Science*.
2. Aladejana, O., Oyedeji, O., Omoboye, O. O., & Bakare, M. (2020). Production, purification and characterization of thermostable alpha amylase from Bacillus subtilis Y25 isolated from decaying yam (Dioscorea rotundata) tuber. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj- napoca*, 12, 154-171.
3. Afrisham, S., Badoei-dalfard, A., Namaki-Shoushtari, A., & Karami, Z. (2016). Characterization of a thermostable, CaCl<sub>2</sub>-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.

4. Kurniawan, D. C., Rohman, M. S., & Witasari, L. (2024). Heterologous expression, characterization, and application of recombinant thermostable  $\alpha$ -amylase from *Geobacillus* sp. DS3 for porous starch production. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 39.
5. Wang, X., Guo, N., Hu, J., Gou, C., Xie, X., Zheng, H., Liao, A., ... et al. (2024). Construction of an amylolytic *Saccharomyces cerevisiae* strain with high copies of  $\alpha$ -amylase and glucoamylase genes integration for bioethanol production from sweet potato residue. *Frontiers in Microbiology*, 15.
6. Vučurović, V., Katanski, A., Vučurović, D., Bajić, B., & Dodić, S. (2025). Simultaneous Saccharification and Fermentation of Wheat Starch for Bioethanol Production. *Fermentation*.
7. 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.
8. Bandara, Y. (2024). Isolation and identification of thermostable amylase enzyme producing bacteria from compost production plant in Kurunegala. *The 24th International Postgraduate Research Conference*.
9. Asad, W., Kiran, T., Khan, M., Saleem, F., Asad, S., Rasool, S., Shah, T., ... et al. (2024). EXPLORING NATURAL SELECTION SIGNATURES ON THE ALPHA-AMYLASE GENE OF NOVEL BACILLUS LICHENIFORMIS 208 STRAIN ISOLATED FROM A LOCAL HOT SPRING. *Applied Ecology and Environmental Research*.
10. M, G. V., & S, P. (2025). Review on Scaling up  $\alpha$ -Amylase Production by Bacterial Strains through Solid State Fermentation. *International Journal for Sciences and Technology*.
11. Chaitano, N., Junphong, A., Chaiya, A., Chaiwong, K., & Vuthijumnonk, J. (2024). Potential of *Dioscorea* spp. for Bioethanol Production Using Separate Hydrolysis and Fermentation Method. *The Philippine journal of science*.
12. Ozougwu, V. O., Aernan, S. D., Onoyima, E., & Chinekwa, S. (2026). Bioethanol production by consolidated bioprocessing and simultaneous saccharification and fermentation of sorghum flour using *Pichia* and *Meyerozyma guilliermondii* strains. *Bio-Research*.
13. Trakarnpaiboon, S., Srisuk, N., Piyachomkwan, K., Sakai, K., & Kitpreechavanich, V. (2017). Enhanced production of raw starch degrading enzyme using agro-industrial waste mixtures by thermotolerant *Rhizopus microsporus* for raw cassava chip saccharification in ethanol production. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 47, 813 - 823.
14. Megawati, Astuti, W., Triwibowo, B., Bahlawan, Z. A. S., Bancin, W. A. P., Daksana, M. R., Indriasari, H., ... et al. (2024). Kinetics of Separate Hydrolysis and Fermentation of *Chlorella* in Bioethanol Production. *E3S Web of Conferences*.
15. Rodrigo, W. W. P., Magamulla, L. S., Thiwanka, M. S., & Yapa, Y. M. S. M. (2022). Optimization of Growth Conditions to Identify the Superior *Bacillus* Strain Which Produce High Yield of Thermostable Alpha Amylase. *Advances in Enzyme Research*.
16. Effiom, H., & Lennox, J. (2022). Optimization of Independent Variables for the Production of Extracellular Alpha Amylase by *Bacillus subtilis* IMD34 Using Plackett-Burman Design. *Sultan Qaboos University Journal for Science [SQUJS]*.
17. Posoongnoen, S., Thummavongsa, T., Junthip, J., Jandaruang, J., & Preecharram, S. (2025). Potential application of  $\alpha$ -amylase from germinating *cucurbita moschata* duchesne seeds in eco-friendly bioethanol production. *Scientific Reports*, 15.

18. Albalawi, K., Abdelrahman, E. A., Rehman, K., Alissa, M., Alghamdi, A., Alshehri, M. A., Alghamdi, S. A., ... et al. (2025). Biochemical and thermodynamic characterization of a novel  $\alpha$ -amylase from Avena fatua for biotechnological applications. *Bioorganic chemistry (Print)*, 164, 108883 .
19. El-Tayeb, O., Mohammad, F., Hashem, A., & Aboulwafa, M. (2008). Optimization of the industrial production of bacterial alpha amylase in Egypt. IV. Fermentor production and characterization of the enzyme of two strains of Bacillus subtilis and Bacillus amyloliquefaciens. *African Journal of Biotechnology*, 7.
20. Gunny, A., Subramanian, P., Mahmood, S. S., Al-Rajabi, M., Ahmad, A. A., & Bakar, A. R. A. (2024). Mechanism of inhibition of alpha-amylase by caffeic acid using in-vitro and in-silico techniques. *Natural Product Research*, 39, 7023 - 7027.
21. Wei, X., Huang, W., Han, Y., Chen, L., Wang, Y., Yu, S., & Yang, F. (2024). Allosteric mechanism of synergistic effect in  $\alpha$ - and  $\beta$ -amylase mixtures. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135653 .

## Contacteur Enzymes.bio

Des questions sur une commande ? Notre équipe se fera un plaisir de vous aider.

E-MAIL [wholesale@enzymes.bio](mailto: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.