



1294_02 (FR)

Les enzymes au service de la panification

Résumé

Amylases, protéases, lipases, xylanases pour ne citer que les plus connues... les enzymes sont omniprésentes dans le domaine du vivant et jouent un rôle essentiel lors des différentes étapes de la panification. Leur emploi se traduit très concrètement au niveau des produits finis : meilleure prise de volume, coloration appropriée de la croûte et de la mie, etc. Les enzymes, naturellement apportées par les ingrédients des recettes en quantités variables et non contrôlées, gagnent aussi à être ajoutées selon un savoir-faire maîtrisé. En particulier, les progrès réalisés dans la connaissance et la culture de micro-organismes capables de synthétiser ces protéines ont permis d'isoler et de produire un arsenal d'enzymes, en quantités importantes et dans des conditions économiques avantageuses. La mise sur le marché des enzymes est encadrée par une réglementation stricte qui prévoit des évaluations sanitaires. ■

Introduction

1. Nature des enzymes en panification

1.1. Comprendre les enzymes

En tant que protéines, les enzymes sont constituées d'un enchaînement d'acides aminés. Leur taille peut varier de 60 à plus de 2 500 acides aminés. Les liaisons qui s'établissent entre eux permettent un repliement de la molécule dans l'espace, lui conférant une structure tridimensionnelle. On parle de structure tertiaire. Dans certaines enzymes, plusieurs chaînes protéiques s'associent, donnant lieu à une structure dite alors quaternaire (Cauvain, 2012). **La configuration spatiale de l'enzyme est à la fois garantie de son activité métabolique ultra-spécifique et responsable de sa forte sensibilité aux conditions physico-chimiques du milieu.**

1.1.1. Des catalyseurs spécifiques

Le repliement spatial de l'enzyme permet la matérialisation d'un site actif où le substrat se loge et où la réaction biochimique catalysée se produit (Figure 1). Seul un substrat correspondant exactement à la forme du site actif peut s'y insérer (« modèle clef-serrure »), ce qui garantit la très grande spécificité d'action des enzymes. Ainsi une amylase pourra dégrader un seul substrat : l'amidon.

1.1.2. Une activité dépendante de la température et du pH

Le repliement de l'enzyme dans l'espace est dû aux interactions qui s'établissent entre les acides aminés de la chaîne protéique (interactions électrostatiques, hydrophobes, ponts hydrogènes...).

Or ces liaisons dépendent fortement de la température, du pH et des conditions oxydantes ou réductrices du milieu. Chaque enzyme présente une structure 3D spéci-

Les enzymes sont des protéines qui catalysent les réactions biochimiques. Plantes, animaux, bactéries, champignons... tous les règnes du vivant ont recours aux enzymes pour assurer leur fonctionnement. Par leur action, elles diminuent considérablement l'énergie requise pour que les réactions chimiques aient lieu au cœur des cellules. Les propriétés naturelles des enzymes du monde vivant sont utilisées depuis très longtemps pour la production d'aliments, notamment en panification où elles constituent de précieux alliés pour le boulanger.

fique ainsi qu'une activité maximale à une température et un pH donnés. On obtient donc des profils d'activités très variés selon les enzymes, leur type d'action et leur origine (Figure 2).

Tandis qu'une température plus basse que la température optimale diminue l'activité de l'enzyme de façon réversible, une montée élevée en température peut entraîner sa dénaturation définitive. Les enzymes de panification sont actives aux températures appliquées lors de la levée de la pâte. Le début de la cuisson constitue également un instant d'activité privilégié du fait de l'augmentation modérée de la température, l'optimum d'activité de nombreuses enzymes de panification se situant à des températures de l'ordre de 50 à 55 °C. Au-delà, la cuisson déna-

ture progressivement les enzymes, la plupart d'entre elles n'ayant plus d'activité pour des températures de l'ordre de 60 à 70 °C.

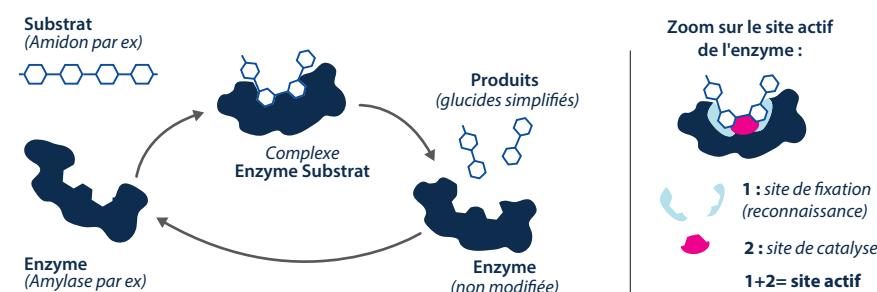
1.2. Enzymes en panification

Certaines enzymes sont naturellement présentes dans les céréales, à des niveaux variables néanmoins, se traduisant par des teneurs non standardisées dans les farines. Pour lisser ces variations de concentration, des enzymes exogènes peuvent venir compléter les enzymes endogènes.

1.2.1. Les enzymes endogènes

Des enzymes sont naturellement présentes dans les grains de céréales. Le grain de blé contient par exemple des enzymes

Figure 1. Les enzymes, des catalyseurs spécifiques d'une réaction et d'un substrat.



Les enzymes à l'origine du vivant

Les exemples ne manquent pas pour illustrer le rôle indispensable joué par les enzymes dans le monde vivant...

- Dans les grains de céréales, les enzymes libérées lors de la germination permettent de transformer les réserves d'énergie de la graine en sucres utilisables par les cellules.
- Chez le veau, certaines enzymes entraînent la coagulation du lait de vache ingéré, ce qui permet sa digestion par le jeune animal ; ces mêmes enzymes, appelées présure, sont d'ailleurs utilisées pour faire cailler le lait lors de la fabrication du fromage.
- Dans le lait maternel, le lysozyme exerce un rôle protecteur vis-à-vis des agressions infectieuses : il est en effet capable de détruire la paroi des cellules des bactéries potentiellement pathogènes (Association des Lactariums de France, 2016).

La découverte des enzymes

A l'instar des levains et des levures, les fonctionnalités des enzymes ont été utilisées de façon empirique bien avant la compréhension des phénomènes biochimiques à l'œuvre. Le malt issu d'orge germée était ainsi ajouté à la farine en quantité minime afin d'activer la fermentation, en particulier lors des récoltes des années sèches qui généraient des farines lentes à lever.

Ce furent deux chimistes français, A. Payen et J.F. Persoz qui démontrèrent en 1830 qu'une substance extraite de l'orge germée provoquait la dégradation de l'amidon. C'était la première enzyme mise en évidence (qu'on appela alors « diastase »).

De nombreuses autres enzymes furent ensuite isolées à partir de tissus végétaux, animaux et humains. Il fallut attendre la fin du XIX^e siècle pour montrer que ces substances n'étaient pas des organismes microscopiques vivants et différaient des ferment, puis le début du XX^e pour établir la nature protéique des enzymes.

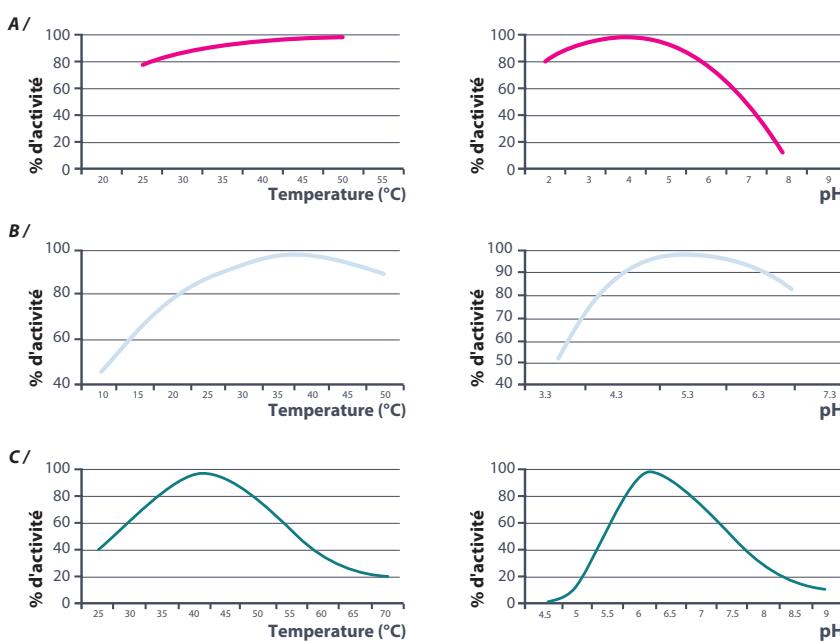
nécessaires à sa germination, comme les amylases : elles permettent de découper les chaînes de glucose qui composent l'amidon (réserve énergétique de la graine) en sucres simples utilisables par les cellules pour se multiplier et former la nouvelle plantule. Ces enzymes naturellement présentes dans le grain se retrouvent dans les farines. Lors de la panification, elles transforment l'amidon en sucres fermentescibles par les levures ou les bactéries et permettent ainsi la production de CO₂ nécessaire à la levée de la pâte (Figure 3 ; *Lesaffre Technical Library 1287. Volume et tolérance*).

1.2.2. Les enzymes produites

par les micro-organismes de la pâte

Approvisionnées en sucres fermentescibles grâce aux enzymes des farines, les levures possèdent en outre un équipement enzymatique parfaitement adapté pour internaliser ces sucres dans leur cellule et les métaboliser. Le terme enzyme aurait d'ailleurs été créé par le scientifique allemand Khüne en 1878 à partir du Grec *en-zyme*, soit litté-

Figure 2. Variabilité des courbes d'activité de quelques enzymes de panification, en fonction du pH et de la température.



ralement « *dans la levure* » (Whitaker, 1993). Les cellules de levures vont démarrer leur activité fermentaire en utilisant préférentiellement le glucose déjà disponible dans la farine. Puis, elles utiliseront le maltose, produit en quantité importante sous l'action des amylases de la farine. Pour le métaboliser, l'intervention de deux types d'enzymes produites par la levure est encore nécessaire (Figure 3) : la **maltose perméase** va permettre au maltose de pénétrer dans la cellule de levure, où il sera transformé en glucose grâce à l'action des **maltases** (*Lesaffre Technical Library 1300. Levures et fermentation*). Par ailleurs, les levures comme *Saccharomyces cerevisiae* produisent une **invertase** (Figure 3) : cette enzyme se révèle particulièrement intéressante en cas de panification de pâtes sucrées contenant du saccharose. Elle permet en effet d'hydrolyser ce disaccharide en une molécule de glucose et une molécule de fructose.

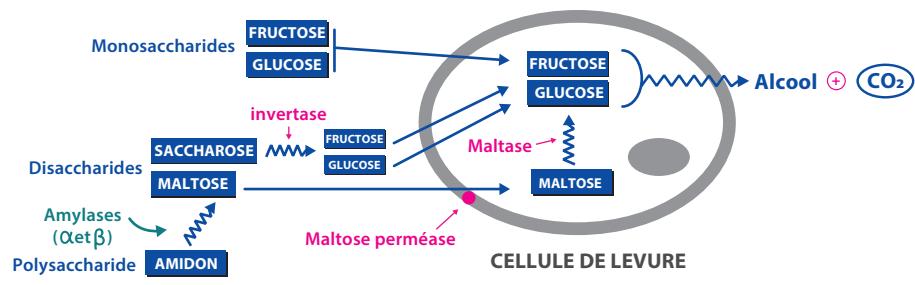
Autre exemple de l'intérêt des enzymes : les bactéries et les levures utilisent une **asparaginase** (ou aminohydrolase) pour intégrer l'asparagine dans leurs voies métaboliques en la transformant en aspartate et en ammoniac (NH₃). Cela réduit ainsi les quantités d'asparagine susceptible de former de l'acrylamide par combinaison avec un glucide lors d'une réaction de Maillard (*Lesaffre Technical Library 1279. Des solutions contre la formation d'acrylamide en panification*).

1.2.3. Les enzymes exogènes

• Les enzymes issues de végétaux

Les enzymes exogènes ajoutées en panification peuvent provenir d'organismes végétaux. C'est par exemple le cas du malt diastasique issu de grains germés qui présentent des teneurs élevées en amylases. Les légumineuses comme le soja ou la fève constituent un autre exemple : elles possèdent des enzymes, les lipoxygénases, capables de

Figure 3. Importance des enzymes pour le métabolisme des glucides par la levure.



Extraction et purification des enzymes

Quel que soit leur mode de production, l'obtention d'enzymes nécessite des opérations d'extraction, de purification, de standardisation et de conditionnement. Le mode opératoire d'obtention de l'enzyme après fermentation dépend du microorganisme utilisé. En effet, les champignons ont tendance à sécréter les enzymes alors que certaines bactéries produiront des enzymes intracellulaires.

- Dans le cas d'enzymes intracellulaires, la première étape consiste à libérer l'enzyme de la cellule qui l'a produite. Des techniques physico-chimiques (broyage, choc osmotique, choc thermique, agitation, etc.) sont alors appliquées pour fragiliser les parois et membranes cellulaires, faire éclater la cellule et libérer son contenu.

- Il faut ensuite procéder à des étapes de purification pour séparer l'enzyme d'intérêt des autres constituants cellulaires. La purification peut reposer sur les différences de solubilité, de taille, ou de charges électriques entre les différents composés et combine ainsi plusieurs techniques (filtration, centrifugation, chromatographie, électrophorèse...).

- Finalement, les étapes de concentration, séchage et standardisation permettent d'aboutir à des produits dont la concentration enzymatique est parfaitement contrôlée. En fonction de la concentration des produits, en meunerie, les niveaux d'incorporation d'enzymes sont de l'ordre de 1 à 20 g / 1 000 kg de farine, soit de l'ordre du milligramme par baguette.

d'extraction, de purification et de formulation permettent d'isoler spécifiquement les enzymes recherchées et de les conditionner (Cauvain, 2012). Elles ne contiennent donc aucune trace des micro-organismes qui les ont produites (voir encadré).

2. Fonctions des enzymes en panification

Il existe une palette diversifiée d'enzymes que l'on peut employer en panification. Elles sont actives sur différents constituants de la farine, notamment les glucides, les protéines et les lipides. Les fonctionnalités permises par les plus courantes d'entre elles ainsi que leurs sources et modalités d'actions sont résumées dans ce chapitre et récapitulées dans le tableau 1.

2.1. Action des enzymes sur les glucides

Les glucides constituent de loin le premier composant des farines. Bien que les quantités varient en fonction des variétés, on peut retenir une teneur en glucides de l'ordre de 70 à 75 % en poids dans la farine de blé (Pyler et Gorton, 2008), essentiellement présents sous forme d'amidon (*Lesaffre Technical Library* 1303. Les farines de blé).

détruire les pigments caroténoïdes et produisant ainsi un effet blanchissant sur la mie.

• Les enzymes issues de fermentations

Si l'extraction d'enzymes à partir de tissus végétaux a longtemps constitué la principale technique de production, l'approche la plus répandue aujourd'hui consiste à produire ces protéines à partir de fermentations réalisées par des micro-organismes (Cauvain, 2015).

Dans le monde vivant, les micro-organismes

comme les moisissures et les bactéries s'avèrent en effet naturellement équipés d'un large matériel enzymatique. Leur culture dans des conditions de température et de pH adaptées et en présence de substrats carbonés et azotés permet une production abondante et rapide d'un arsenal d'enzymes diversifiées. Les micro-organismes sélectionnés pour la production d'enzymes le sont sur des critères de productivité et de sûreté. Une fois la fermentation réalisée, des étapes

Tableau 1. Principales enzymes utilisées en panification et fonctionnalités associées.

	α-amylases	Amylo-glucosidases	α-amylases maltogéniques	Xylanases	Lipases	Glucose oxydases	Protéases	Trans-glutaminases
Amélioration de la fermentation de la pâte et de la production gazeuse	✓	✓						
Amélioration de la stabilité de la pâte et de la structure de la mie	✓			✓	✓	✓		✓
Renforcement du gluten						✓		✓
Augmentation de l'extensibilité de la pâte				✓			✓	
Augmentation du volume	✓	✓		✓	✓	✓		✓
Coloration de la croûte	✓	✓						
Blanchiment de la mie					✓	✓		
Amélioration du moelleux	✓		✓	✓	✓		✓	

NB : Le blanchiment de la mie peut aussi être obtenu grâce à l'ajout d'ingrédients végétaux riches en lipoxygénases comme le soja ou les fèves. Parmi les enzymes amylolytiques, on trouve aussi des β-amylases ; les céréales comme le blé en sont riches, en particulier lorsqu'elles sont germées (cas du malt).

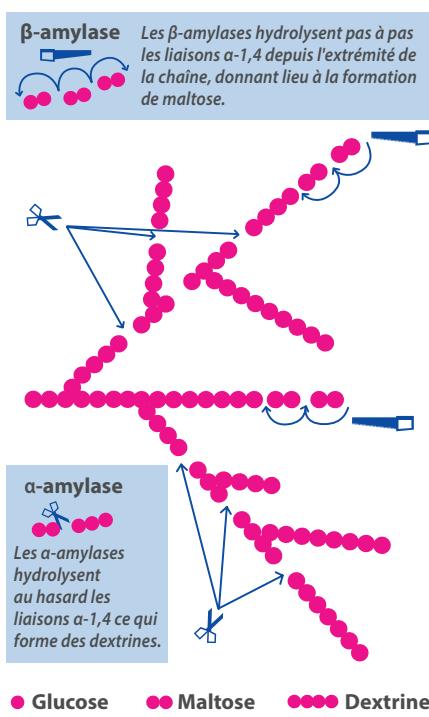
2.1.1. Amylases

Les glucides des farines sont en grande partie présents sous une forme complexe hautement structurée : l'amidon, polysaccharide composé de chaînes – linéaires ou ramifiées – de plusieurs centaines d'unités de glucose. Or l'amidon n'est pas directement assimilable par les levures, qui ont besoin de sucres simples (glucides composés de une ou deux unités de sucres = monosaccharides ou disaccharides) pour réaliser la fermentation (*Lesaffre Technical Library 1300. Levures et fermentation*). En découpant les chaînes d'amidon, les amylases vont permettre de produire les sucres nécessaires à la fermentation des levures. Il en existe trois grandes catégories : les α -amylases, les β -amylases et les amyloglucosidases.

• α -amylases

Qu'elles proviennent de la farine, de grains germés, ou de fermentations bactériennes ou fongiques, les α -amylases hydrolysent les liaisons glucidiques α -1,4 des chaînes d'amidon. On parle d'endoenzymes car elles sont capables d'agir n'importe où à l'intérieur de la chaîne carbonée (Figure 4) ; en revanche, elles sont incapables de découper les unités glucidiques qui terminent la chaîne carbonée, ni celles situées à la jonction des ramifications, liées en α -1,6. (De

Figure 4. Modes d'actions des α -amylases (endoenzymes) et β -amylases (exoenzymes) sur les chaînes d'amidon.



une thermo-résistance variable selon leur source : ainsi, les α -amylases bactériennes sont plus résistantes à la température, ce qui leur permet d'être actives plus longtemps pendant la cuisson au four. Cela implique un dosage plus précis afin d'éviter un excès d'activité susceptible de rendre la pâte, puis la mie, collantes (Cauvain, 2012). En termes d'effets technologiques, les α -amylases contribuent à augmenter le volume des pains et à améliorer la structure alvéolaire de la mie. Les sucres produits grâce aux α -amylases stimulent également les réactions de Maillard, ce qui se traduit par une meilleure coloration de la croûte (*Lesaffre Technical Library 1307*. Les pains à croûte), ainsi que par une amélioration de la texture des mises, en augmentant leur tendreté et leur humidité (*Lesaffre Technical Library 1286*. Maîtriser les mécanismes du goût en panification ; et 1283. Améliorer et maintenir le moelleux des produits de panification).

• β -amylases

Contrairement aux α -amylases, les β -amylases sont qualifiées d'exoenzymes car elles coupent les liaisons glycosidiques à partir des extrémités des chaînes d'amidon. Leur action complète ainsi celle des α -amylases. Elles conduisent à la formation de maltose, c'est-à-dire à des molécules de deux unités de glucose utilisables par le métabolisme énergétique des levures (Pyler et Gorton, 2008). Les β -amylases se révèlent plus sensibles à la température que les α -amylases et sont dénaturées à des températures inférieures (Berger, 2003). On les trouve en quantité importante dans les farines.

• Amyloglucosidases

Les amyloglucosidases sont des exoenzymes qui hydrolysent à la fois les liaisons α -1,4 et α -1,6 en libérant du glucose. Elles sont encore appelées glucoamylases ou glucamylases. En complément de l'action des α -amylases, les glucoamylases permettent d'augmenter les teneurs de la pâte en sucres simples qui interviennent dans les réactions de Maillard, participant ainsi à la création des notes aromatiques et à la coloration de la croûte du pain.

2.1.2. Xylanases

Xylanases ou encore arabinoxylanases, hémicellulases, pentosanases... de nombreux noms désignent ces enzymes qui

Nomenclature des enzymes

Depuis 1964, les enzymes sont classées selon une nomenclature définie par la *Commission on Enzymes of the International Union of Biochemistry*. Chaque enzyme possède un matricule composé des lettres EC (pour *Enzyme Commission*) suivies de quatre chiffres. Le premier chiffre désigne la principale réaction catalysée (parmi six grands types de réactions, voir ci-dessous), le second le type de substrat ; les troisième et quatrième fournissent des informations encore plus spécifiques sur la réaction (Berger, 2003). Des enzymes provenant de différents organismes et catalysant la même réaction reçoivent ainsi le même code EC. Par exemple, les α -amylases, quelle que soit leur origine, répondent au matricule EC 3.2.1.1. (Cauvain, 2012).

1	Oxydoréductases	Elles catalysent les réactions d'oxydation et de réduction.
2	Transférases	Elles transfèrent un groupe fonctionnel.
3	Hydrolases	Elles catalysent l'hydrolyse de différentes liaisons.
4	Isomérasées	Elles catalysent la formation d'isomères d'une molécule.
5	Lyases	Elles clivent certaines liaisons selon une réaction autre que l'hydrolyse ou l'oxydation.
6	Ligases	Elles lient deux molécules par liaison covalente.

agissent sur les glucides non amyloïdes présents dans la farine (fibres). Ces derniers, appelés pentosanes, se retrouvent à hauteur de 2 à 3 % dans la farine de blé (taux supérieurs dans les farines complètes), et représentent jusqu'à 12 % dans la farine de seigle. Ils ont la propriété de pouvoir lier de grandes quantités d'eau de la pâte. Les xylanases s'avèrent capables de découper les chaînes carbonées des pentosanes, dont les liaisons glucidiques sont très spécifiques. Elles pourraient libérer les molécules d'eau sinon liées et les rendre disponibles pour les autres composants de la pâte, en particulier pour les protéines, facilitant ainsi le développement du réseau de gluten (Pyler et Gorton, 2008). Les xylanases employées en panification proviennent en général de sources fongiques ou bactériennes (Cauvain, 2015).

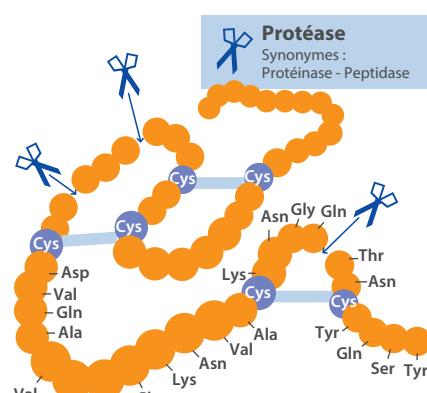
2.1.3. Glucose oxydases

Les glucose oxydases, comme leur nom l'indique, oxydent – en présence d'oxygène – le glucose en sa forme acide correspondante (acide gluconique ou glucuronique). Cela donne lieu à la production de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), oxydant puissant et rapide d'action qui induit la formation de ponts disulfure au cœur du réseau de gluten, participant ainsi à sa prise de force (Cauvain, 2015). Au niveau des produits, cela se manifeste par une machinabilité améliorée ainsi que par une meilleure rétention gazeuse, garante de la prise de volume et de la structuration de la mie (Miguel *et al.*, 2013). La formation de peroxyde d'hydrogène s'effectuant à partir de molécules d'eau, il est classique de combiner l'utilisation de glucose oxydases à celles de xylanases, capables de libérer l'eau autrement liée aux pentosanes (Pyler et Gorton, 2008). Néanmoins, c'est souvent l'oxygène qui constitue le facteur limitant de la réaction (Cauvain, 2015). Cette enzyme peut être obtenue à partir de différentes sources fongiques, *Aspergillus niger* constituant le micro-organisme le plus utilisé (Miguel *et al.*, 2013).

2.2. Action des enzymes sur les protéines

Après les glucides, les protéines constituent le deuxième composant des farines (8 à 15 % selon les variétés, récoltes, etc. ; Pyler et Gorton, 2008 ; *Lesaffre Technical Library* 1303). Les farines de blé. Certaines d'entre

Figure 5. Action de la protéase sur le gluten.



Source : Popper L. *Enzymes : les meilleurs amis des farines. De précieux auxiliaires au service des meuniers.*

elles, les gliadiques et les gluténines, jouent un rôle majeur en panification car elles forment le réseau de gluten garant des propriétés rhéologiques de la pâte (élasticité et extensibilité) et qui, en retenant le gaz carbonique produit par la fermentation, permet la levée de la pâte et la structuration alvéolaire de la mie (*Lesaffre Technical Library* 1287. Volume et Tolérance). Plusieurs types d'enzymes sont susceptibles d'agir sur les protéines.

2.2.1. Protéases

Les protéases sont capables de découper les protéines en hydrolysant les liaisons peptidiques entre les acides aminés (Figure 5). Les protéines formant le gluten dans la pâte constituent bien souvent la cible visée lors de l'ajout de ces enzymes (Cauvain, 2005) : en effet, elles permettent de relâcher un réseau de gluten trop fort, ce qui augmente son extensibilité, diminue l'élasticité de la pâte et limite sa rétraction ; permet de diminuer le temps de pétrissage ; améliore l'écoulement de la pâte et garantit la forme régulière des produits. Les protéases

peuvent remplacer avantageusement certains agents réducteurs, bien que les deux types de composés n'agissent pas sur les mêmes liaisons du réseau de gluten. Les protéases sont en général d'origine fongique ou bactérienne mais elles peuvent aussi provenir de plantes (Pyler et Gorton, 2008 ; Cauvain, 2012). Elles sont plus communément utilisées sur les farines fortes nord-américaines que sur les farines européennes (Cauvain, 2015).

2.2.2. Transglutaminases

À l'inverse des protéases, les transglutaminases catalysent la formation de liaisons peptidiques. En particulier, elles assurent la liaison entre deux acides aminés spécifiques présents dans les protéines du gluten : la L-lysine et la L-glutamine. Elles ont donc pour effet de renforcer un gluten trop faible et de donner plus de tolérance à la pâte (Cauvain, 2012), favorisant ainsi la prise de volume. Elles peuvent ainsi présenter un intérêt pour les pâtes crues surgelées, ou encore en cas de pétrissage intensif (Cauvain, 2015 ; Pyler et Gorton, 2008).

2.3. Actions des enzymes sur les lipides

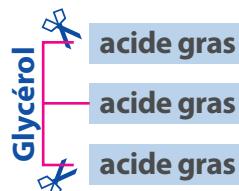
Les farines contiennent une proportion de lipides faible : entre 1 et 3 % (Pyler et Gorton, 2008). Néanmoins, ils exercent un rôle technologique majeur dans les procédés de panification du fait de leurs interactions avec l'amidon et les protéines. En agissant sur les lipides des farines, certaines enzymes sont capables de moduler ces interactions, notamment celles entre les lipides et le réseau de gluten.

2.3.1. Lipases

Les lipides présents dans les produits de panification se trouvent essentiellement sous forme de triglycérides. Une première génération de lipases, qui a vu le jour dans les années 1990, permet de libérer les acides gras portés par la molécule de glycérol, relâchant ainsi des diglycérides, des monoglycérides, voire du glycérol isolé et des acides gras libres (Figure 6). L'ajout de telles enzymes permet d'améliorer la rhéologie de la pâte, sa force, sa stabilité et sa machinabilité. De plus, elles permettent d'accroître le volume des produits et la structuration de la mie (Miguel *et al.*, 2013).

Des lipases de seconde génération agissent

Figure 6. Effet de la lipase sur les molécules de corps gras.



Les lipases libèrent les acides gras (AG) portés par les triglycérides, donnant lieu à la formation de diglycérides (1 AG libéré), de monoglycérides (2 AG libérés), voire de glycérol (3 AG libérés).

aussi sur d'autres formes de lipides, les phospholipides et les galactolipides. En découpant ces composés, elles augmentent leur polarité (c'est-à-dire leur degré d'hydrophilie). Les lipides polaires ainsi formés seraient responsables d'une plus grande stabilité des cellules gazeuses formées dans la pâte au cours de la fermentation et de leur distribution plus régulière, car ils participeraient à réduire les tensions de surface à la périphérie des bulles (Cauvain, 2012). L'utilisation de lipases de seconde génération donne lieu à une prise de volume plus importante, une plus grande tolérance au stress mécanique, et une texture de mie plus fine que les lipases de première génération (Miguel *et al.*, 2013).

2.3.2. Lipoxygénases

Les lipoxygénases ajoutées en panification ont pour principal substrat les caroténoïdes présents dans la farine, substances hautement lipophiles. Il s'agit de pigments qui confèrent une teinte jaunâtre à la mie. En oxydant ces composés, les lipoxygénases permettent d'obtenir une mie blanchie

plus attractive sur certains marchés. Les légumineuses comme le soja ou la fève sont naturellement riches en lipoxygénase. Ainsi, cette enzyme est souvent extraite des farines issues de ces graines (Pyler et Gorton, 2008 ; Miguel *et al.*, 2013).

caractéristiques techniques, sur son procédé d'obtention et de purification, et sur la recherche de contaminants éventuels dans la préparation enzymatique finale (toxines, métaux lourds, etc.).

Le comité d'experts international sur les additifs alimentaires de la FAO/OMS – le JECFA – a établi des lignes directrices sur les données à produire et les méthodes d'évaluation des paramètres de sécurité sanitaire (JECFA, 2001). Ce comité procède en outre à des évaluations volontaires d'enzymes depuis 1971. Ses conclusions sont largement reconnues et utilisées par de nombreux pays à travers le monde.

Au niveau européen, un cadre réglementaire est en cours de construction depuis 2008 à travers les règlements n°1331/2008 et n°1332/2008 prévoyant une harmonisation communautaire des législations en matière d'utilisation d'additifs, d'enzymes et d'arômes. Suite à leur évaluation par l'EFSA (l'agence européenne de sécurité alimentaire), une liste positive des enzymes autorisées pour une utilisation européenne devrait voir le jour en 2025. Selon les termes du règlement n°1332/2008, pour être autorisée sur cette liste, une enzyme ne doit pas poser de problème de santé pour le consommateur, doit répondre à un besoin technologique et son usage ne doit pas induire le consommateur en erreur (par exemple quant à la fraîcheur d'un produit, etc.). Comme le JECFA, l'EFSA a publié des lignes directrices pour la constitution des dossiers de demande d'autorisation d'enzymes précisant le type de données attendues (composition chimique, propriétés, applications envisagées, dose d'utilisation, études de toxicité, etc.).

Un statut réglementaire variable qui conditionne l'étiquetage

Les enzymes peuvent avoir le statut d'additif ou d'auxiliaires technologiques selon qu'elles sont actives ou non dans le produit fini. En panification, les fournisseurs d'enzymes estiment qu'elles sont inactivées par la chaleur à la cuisson dans des schémas classiques de production de pain. Les enzymes ne sont donc pas considérées comme des ingrédients à étiqueter mais comme des auxiliaires technologiques qui sont exemptés d'étiquetage selon les dispositions de la réglementation européenne (Règlement UE n°1169/2011 sur l'information du consommateur).

Catalyseurs universels des réactions biochimiques qui s'opèrent dans le monde vivant, les enzymes répondent à des besoins technologiques stratégiques dans de nombreux secteurs de l'industrie agro-alimentaire.

Les enzymes naturellement présentes dans les ingrédients et les micro-organismes intervenant en panification ont inspiré la recherche pour produire des enzymes venant compléter ces fonctionnalités natives et améliorer encore les propriétés de la pâte et la qualité des produits. Pour des résultats appréciables,

leur utilisation nécessite toutefois un choix rigoureux et un dosage précis, qui doivent tenir compte de nombreux paramètres (qualité de la farine, acidité de la pâte, temps de fermentation, temps de cuisson, etc.) ; mais aussi intégrer les synergies d'actions entre les différentes enzymes, afin de découpler leur potentiel tout en diminuant les quantités nécessaires. Une savante maîtrise que Lesaffre a su acquérir au fil des années, mise à disposition des professionnels de la boulangerie.

Conclusion

Bibliographie



Association des Lactariums de France. 2016.

Composition du lait maternel.

<http://association-des-lactariums-de-france.fr/composition-du-lait-maternel/>

Berger M. 2003. Intérêt technologique des enzymes en panification. *Stage de formation*.

Cauvain S. 2012. Bread Making - Improving Quality. 2nd edition. 832pp. *Woodhead Publishing*. ISBN 978-0-857-09060-7.

Cauvain S. 2015. Technology of Breadmaking. 3rd edition. *Springer International Publishing Switzerland*. ISBN 978-3-319-14686-7.

De Souza PM, de Oliveira Magalhães P. 2010. Application of microbial α -amylase in industry A review. *Brazilian Journal of Microbiology*;41(4):850-861.

DGCCRF. 2017. Catégories d'auxiliaires technologiques. Annexe 1 du décret 2011-509. https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/dgccrf/securite/produits_alimentaires/CATEGORIES_AUXILIAIRES2017.pdf

Efsa. 2009. Guidance of EFSA prepared by the Scientific Panel of Food Contact Material, Enzymes, Flavourings and Processing Aids on the Submission of a Dossier on Food Enzymes. *The EFSA Journal* 1305, 1-26.

JECFA. 2001. General Specifications and

Considerations for Enzyme Preparations.

<http://www.fao.org/food/food-safety-quality/scientific-advice/jecfa/jecfa-additives/enzymes/fr/>

Lhomme E, Dousset X, Onno B. 2016. Les levains de panification : Microbiote et Fonctionnalités. *Editions universitaires européennes*.

Magnuson B, Munro I, Abbot P, et al. 2013.

Review of the regulation and safety assessment of food substances in various countries and jurisdictions. Food Additives & Contaminants Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment;30(7):1147-1220.

Miguel ASM, Lobo BWP, Figueiredo EVC,

Dellamora-Ortiz GM & Martins-Meyer TS. 2013.

Enzymes in Bakery: Current and Future Trends in Food Industry - INTECH Open Access Publisher.

ISBN: 978-953-51-0911-2.

Pyler EJ et Gorton LA. 2008. Baking science and technology. Vol 1 : Fundamentals and ingredients. 4th edition. *Sosland Publishing, Kansas City, MO*. ISBN: 978-0-9820239-0-7.

Syfab. Les enzymes. <http://www.syfab.fr/ActiviteDetails.aspx?act=115&lid=5&rid=267>

Whitake JR. 1993. Principles of Enzymology for the Food Sciences. 2nd edition. *CRC Press*.

Lesaffre Technical Library*

*Bibliothèque technique Lesaffre

La *Lesaffre Technical Library* est un fond documentaire destiné aux professionnels de la panification à la recherche d'informations précises et objectives sur leur métier. Elaborées par des experts en panification Lesaffre, provenant de tous les continents (techniciens boulanger, formulateurs, ingénieurs de recherche...), ces parutions répondent aux attentes des boulanger en leur apportant un regard technique et scientifique à la fois accessible et exigeant. Les thèmes abordés sont nombreux et variés, et couvrent l'ensemble des problématiques du moment : familles de produits, types de panifications, process, fonctionnalités...

Pour aller plus loin

 1287	 1300
Volume et tolérance	Levures et fermentation

Acteur référent sur le plan mondial, Lesaffre conçoit, produit et apporte des solutions pour la panification, la nutrition, la santé et la protection du vivant, à partir de levures, ingrédients et autres produits de fermentation. Proche de ses clients et ses partenaires, Lesaffre entreprend avec confiance pour mieux nourrir et protéger la planète.

Contact : Stéphan Béague • + 33 3 20 81 61 00 • s.beague@lesaffre.com

LESAFFRE 