

Enzymes : les meilleurs amis des farines

De précieux auxiliaires au service des meuniers

Lutz Popper, docteur ès sciences, Mühlenchemie Ahrensburg, Allemagne

On a cru pendant longtemps que les α et β amylases étaient les seuls enzymes susceptibles d'être utilisés dans l'industrie meunière. L'apparition des hémicellulases, il y a une vingtaine d'années, a marqué un premier tournant et le succès actuel des enzymes lipolytiques est en train d'impulser une nouvelle dynamique d'évolution. Il existe encore beaucoup d'autres enzymes (Tableau 1) qui continuent de jouer un rôle secondaire dans certaines applications, mais il se pourrait bien qu'un jour ou l'autre, on les utilise de manière aussi polyvalente que ceux mentionnés plus haut. Cette présentation se propose de mettre l'accent sur des propriétés peu connues d'enzymes classiques ainsi que sur des niches d'application spécifique d'enzymes bien connus.

Tableau 1 : Enzymes servant à l'amélioration de la farine et du pain*

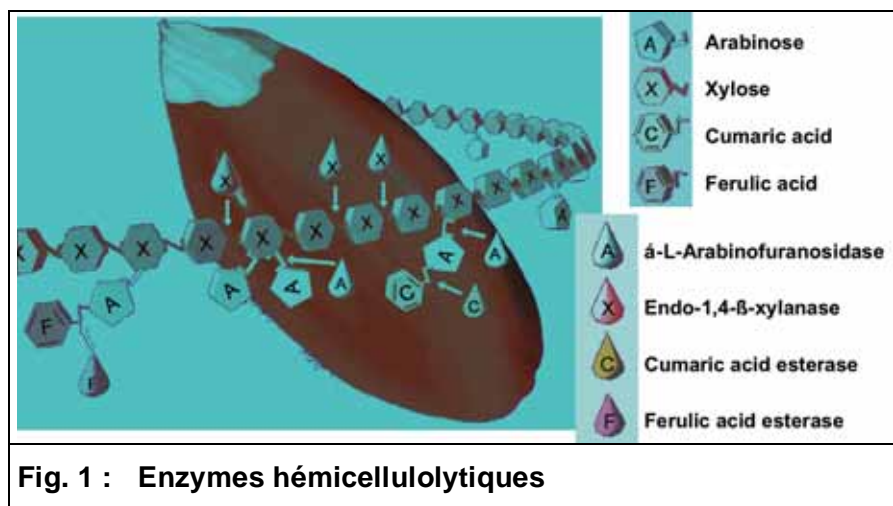
Enzyme	Effet
α -amylase, fongique	Fourniture d'énergie à la levure
α -amylase, bactérienne	Liquéfaction
α -amylase, moyennement stable à la chaleur	Anti-rassissement
Amyloglucosidase (glucoamylase)	Apport d'énergie, couleur, goût
Enzyme branchant (glucotransférase)	Rétention d'eau
Cellulase	Rétention d'eau
Furanosidase, arabinofuranosidase	Structure de la pâte, rétention d'eau
Estérase acide coumarique et férulique	Structure de la pâte, rétention d'eau
Glutathion-oxydase	Renforcement du réseau protéique
Glycolipase, galactolipase	Stabilité de la pâte et rendement en volume
β -glucanase	Structure, liquéfaction
Glucose-oxydase, galactose-oxydase, hexose-oxydase	Renforcement du réseau protéique
Hémicellulase, xylanase, pentosanase	Structure de la pâte, rétention d'eau, volume du pain
Laccase, polyphénoloxydase	Renforcement de la pâte
Lipase	Goût, émulsification <i>in-situ</i> , stabilité de la pâte et rendement en volume
Lipoxygénase, lipoxydase	Structure de la pâte, décoloration
Exopeptidase	Couleur, goût
Peroxydase	Renforcement du réseau protéique
Phospholipase	Pore structure et volume
Protéase, protéinase	Détente du réseau protéique, liquéfaction
Pullulanase	Structure, rétention d'eau
Sulphhydryl-oxydase	Renforcement du réseau protéique
Sulphhydryl-transférase	Renforcement du réseau protéique
Transglutaminase	Réticulation des protéines, stabilisation du gluten

Le terme d'hémicellulase désigne une famille d'enzymes dont les membres, présentés sur la figure 1, sont capables de décomposer les pentosanes. Leur impact sur la panification et les propriétés de la pâte varie toutefois beaucoup d'une enzyme à l'autre.

* Liste non exhaustive

On suppose que les pentosanes forment un réseau avec le gluten. Ce réseau est d'autant plus solide que le nombre de pentosanes impliqués est plus grand. C'est la raison pour laquelle les farines de blé de couleur assez foncée et les mélanges contenant de la farine de seigle donnent des pains de volume inférieur aux farines de couleur blanche. L'addition d'hémicellulases permet d'augmenter considérablement le rendement en pain (volume) de toutes les farines.

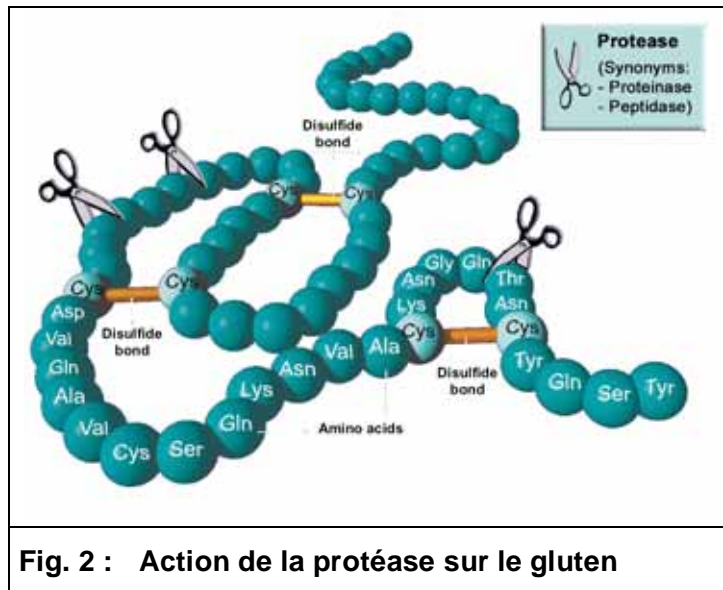
La plupart de ces enzymes sont dérivés de souches d'*Aspergillus* spécialement sélectionnées pour la production d'hémicellulases.



Les hémicellulases sont vendues pour la plupart mélangées à des amylases. Il n'est pas possible de donner de recommandations d'ordre général en ce qui concerne la dose à utiliser, étant donné qu'il n'existe pas de procédé standard permettant de déterminer l'activité hémicellulasique. Les procédés disponibles sont généralement basés sur le dosage des sucres réducteurs formés, sur la diminution de la viscosité ou la dégradation de molécules de synthèse ou colorées, et il est très difficile d'établir des comparaisons entre eux. De plus, même l'utilisation d'une méthode standard pour les diverses hémicellulases ne déboucherait pas forcément sur des résultats concluants à l'égard de la qualité boulangère, compte tenu du fait que les hémicellulases, suivant leur origine, sont susceptibles d'attaquer les molécules de pentosane en trop de points différents.

Protéases

Les protéases (également connues sous le nom de protéinases ou peptidases) scindent le complexe protéique de la molécule de gluten (Fig. 2), ce dont il résulte d'abord un affaiblissement, puis un effondrement complet de la structure. Seule une protéase purifiée et hautement spécifique est à même de ne rompre que quelques liaisons peptidiques en ne provoquant de ce fait qu'un assouplissement limité.



Un léger assouplissement peut être souhaitable avec les structures glutineuses courtes. En ce cas, il a une signification comparable à l'utilisation de cystéine. L'effet protéolytique, qui dépend davantage du temps que celui de la cystéine, augmente avec la durée de fermentation de la pâte. C'est pourquoi il existe une forte demande de préparations enzymatiques ne contenant aucune protéase, même à l'état de traces.

L'utilisation de protéases est moins critique avec les farines qui sont riches en gluten. Elle est même très courante dans la production de pain moulé américain (pour toasts) où il faut une pâte souple qui remplisse bien le moule. Les protéases sont également très utiles lorsque les farines sont destinées à la fabrication de crackers, biscuits ou gaufrettes, un domaine où l'élasticité du gluten n'est pas souhaitable.

Des enzymes pour les biscuits, crackers et gaufrettes

Alors qu'une teneur élevée en protéines et un gluten fort sont des propriétés souvent recherchées en panification, on préfère utiliser des farines faibles en gluten dans le domaine de la biscuiterie. Cette exigence s'explique essentiellement par deux raisons : la tendance de la pâte à se contracter à nouveau après avoir été étendue au rouleau, et la présence de grumeaux de gluten indésirables dans les pâtes à gaufrettes. Que la farine ait une faible teneur en protéines ou que les protéines soient faibles, la mise en œuvre d'agents réduisant l'élasticité se révèle avantageuse dans toutes les étapes du process : le feuilletage est plus uniforme, l'obtention d'une pâte d'épaisseur voulue est plus rapide et plus facilement reproductible, les temps de repos du ruban de pâte peuvent être raccourcis, voire supprimés, les pâtons conservent la forme qui leur a été donnée au moment de la découpe, il n'y a ni rétrécissement, ni déformation pendant la cuisson au four et il ne se forme pas non plus de fissures sur les gâteaux. Grâce à l'utilisation d'amylases appropriées, il est possible de renoncer à l'incorporation d'adjuvants coûteux, comme la matière sèche du lait, sinon indispensables pour donner aux biscuits une coloration suffisante. En outre, le process tout entier se trouve moins dépendant de la qualité de la farine.

Application à la fabrication des biscuits et crackers

Le tableau 2 présente les recettes de gâteaux secs de type simple fabriqués avec et sans addition de protéase (Alphamalt BK 5020). La dernière ligne compare les dimensions des biscuits. Comme le montre le rapport longueur/largeur (sur une moyenne de 25 biscuits), il n'y a pratiquement pas de différence entre la longueur et la largeur des biscuits fabriqués en incorporant des enzymes alors qu'on observe un rétrécissement dans un sens pour les biscuits sans enzymes.

Tableau 2 : Biscuits confectionnés avec et sans protéase bactérienne

Composant (kg)	Témoin	Avec enzyme
Farine	100	100
Matière grasse	50	50
Sucre	50	50
Sel	0.2	0.2
Eau	10	10
Alphamalt BK 5020	-	0.05
Longueur/Largeur (mm)	62,3 / 59,6	63,6 / 63,3

Etant donné que la protéase fait disparaître la plupart des contraintes internes, les produits ont moins tendance à se déformer pendant la cuisson au four. La première rangée de la figure 3, représente le fond de biscuits ayant été fabriqués sans protéase. On observe que les biscuits sont surtout colorés sur les bords, à l'endroit où ils étaient au contact de la plaque du four. Ces biscuits ont pris une forme convexe pendant la cuisson en raison du rétrécissement asymétrique des protéines ayant subi une dénaturation thermique. Il s'agit là d'un problème fréquent que l'on observe dans le cas de nombreux produits proposés sur le marché. Comme les biscuits fabriqués en ajoutant de la protéase restent plats, leur face inférieure présente une coloration uniforme (rangée du bas).

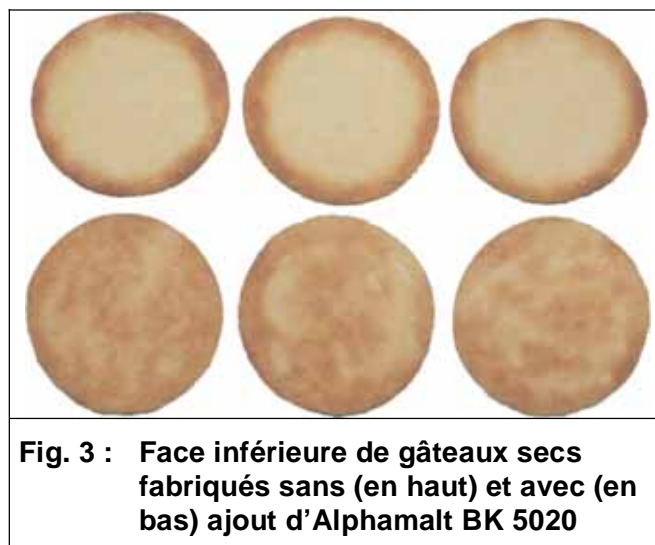


Fig. 3 : Face inférieure de gâteaux secs fabriqués sans (en haut) et avec (en bas) ajout d'Alphamalt BK 5020

Application à la fabrication des gaufrettes

Les pâtes utilisées pour la production des gaufrettes contiennent une grande quantité d'eau. Pour obtenir des gaufrettes régulières à structure uniforme, il est essentiel que la viscosité soit faible et que tous les ingrédients soient bien homogénéisés. Comme la formation de grumeaux de gluten pendant la confection du mélange risque de provoquer la mise à l'arrêt des appareils en bouchant tuyaux et tamis ou qu'il peut en résulter une coloration inégale et une moindre stabilité des gaufrettes, il est indiqué d'utiliser une farine à faible teneur en protéines. Il arrive cependant que cette mesure ne soit pas suffisante. Les complexes enzymatiques hydrolytiques liquéfiant permettent de dégrader tout le gluten présent dans une pâte liquide et d'obtenir un mélange homogène qui s'écoule de manière optimale. Du fait de la réduction de la viscosité, il est alors possible de diminuer la quantité d'eau utilisée dans la recette. Résultats : la consommation d'énergie est plus faible pendant la cuisson et le nombre de fournées peut être augmenté, la durée de cuisson étant plus courte. C'est pour les process semi-continus avec des temps d'attente (*batch times*) d'au moins 10 minutes que les enzymes de ce type conviennent le mieux, étant donné que la réaction enzymatique nécessite un peu de temps pour se produire.

Nous avons utilisé un amylographe de Brabender à température constante pour effectuer un test simple qui démontre l'effet d'une « enzyme à gaufrettes » sur les propriétés rhéologiques d'une pâte liquide (Fig. 4). Une farine de blé panifiable standard a été utilisée pour tous les essais. Nous avons mélangé 250 g de farine dans 330 ml d'eau à l'intérieur d'un mixer Braun pendant 1 min 45 s, puis versé le mélange dans la cuve réactionnelle. L'enzyme Alphamalt LQ 4020 a été incorporée dans l'un des échantillons, à raison de 20 g pour 100 kg de farine, avant l'agitation du mélange.

Alors que l'échantillon témoin a conservé sensiblement la même viscosité pendant une quarantaine de minutes, l'addition de l'enzyme a provoqué une chute immédiate de la viscosité. De plus, toutes les agglomérations glutineuses ont été totalement détruites, ce que l'on peut voir sur la courbe. En revanche, la courbe de l'échantillon témoin révèle d'importantes fluctuations dues aux grumeaux glutineux adhérant au dispositif d'agitation de l'amylographe.

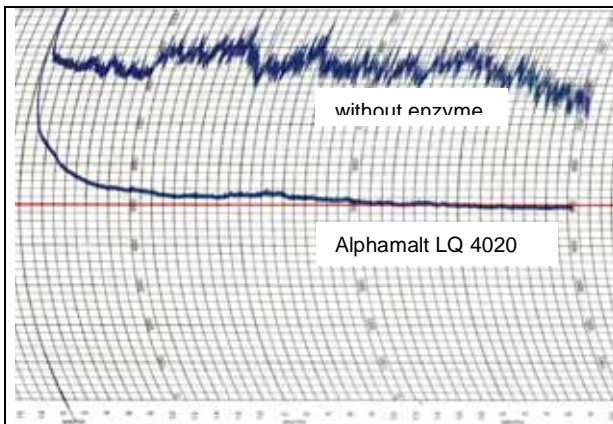


Fig. 4 : Effet de l'Alphamalt LQ 4020 sur la viscosité d'une pâte à gaufrettes à base de farine de blé

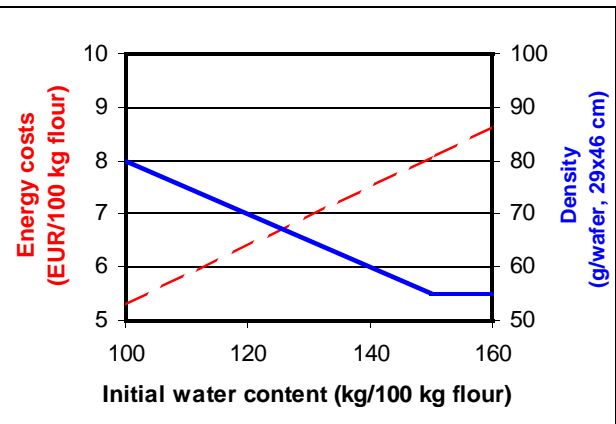


Fig. 5 : Effet de l'addition d'eau sur les coûts d'évaporation

Lors de la réalisation d'essais en usine à échelle réduite, il a été possible de contrôler l'addition d'eau et, par conséquent, le poids et la densité des gaufrettes, en faisant appel au complexe enzymatique. Cette solution offre de grands avantages sur le plan économique (réduction de la consommation énergétique, rendement plus élevé) ainsi qu'une plus grande liberté pour le développement de produits (Fig. 5).

Les gaufrettes de densité plus élevée sont plus croustillantes et elles conservent leur craquant plus longtemps en raison de la moindre absorption d'eau.

Le remplacement du métabisulfite de sodium (MBS) dans la production des crackers et des gaufrettes

Cet agent fortement réducteur rompt les liaisons disulfure dans la chaîne du gluten et entre les chaînes de gluten, ce qui entraîne une diminution immédiate de la résistance et de la viscosité de la pâte. Le MBS est très bon marché et très facile à utiliser.

C'est la raison pour laquelle il est encore employé dans de nombreux pays pour la production des gaufrettes et des crackers. Malheureusement, le métabisulfite détruit la vitamine B1 et il peut aussi être à l'origine de problèmes de santé chez les sujets particulièrement sensibles. Par ailleurs, il inhibe la réaction de brunissement des biscuits et laisse un arrière-goût de soufre. Or, les enzymes font bien davantage que d'être meilleures pour la santé que le MBS, elles présentent aussi des avantages technologiques déterminants en garantissant des propriétés constantes de la pâte dès que la réaction est terminée : texture comparable de la pâte retournée et de la pâte fraîche, moindre absorption d'eau dans la pâte, maîtrise de la densité et de la stabilité des gaufrettes.

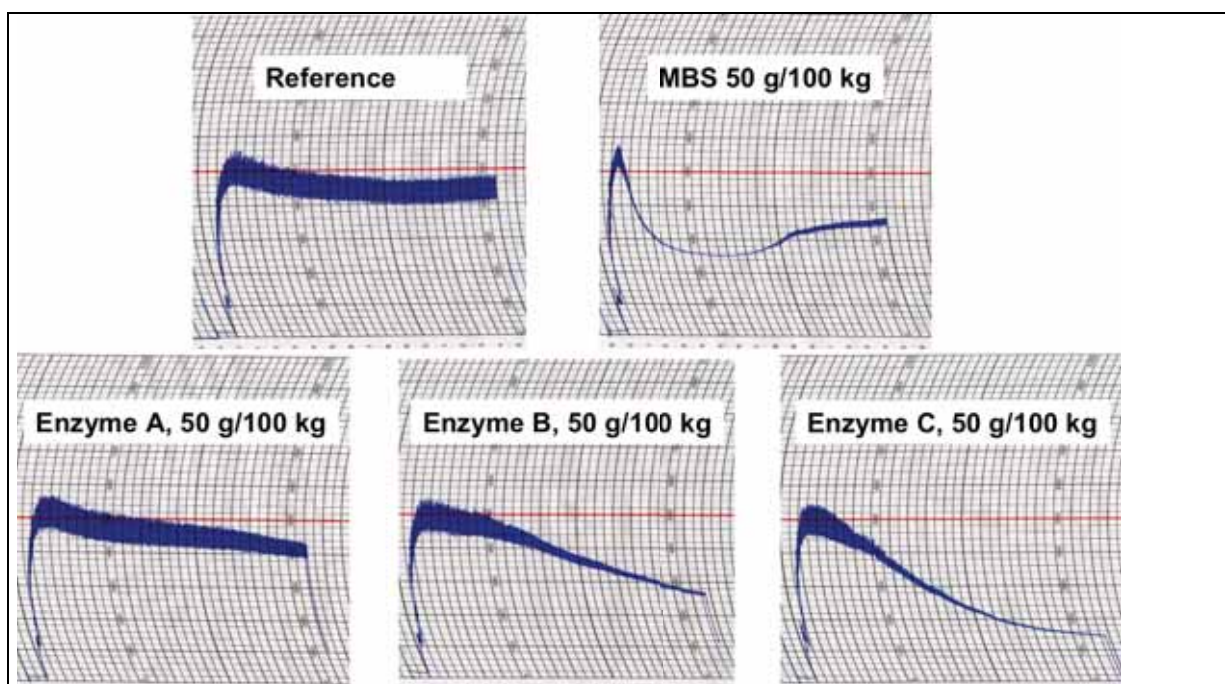


Fig. 6 : Farinogrammes de pâtes fabriquées avec du métabisulfite de sodium (MBS) et des enzymes.

A : enzyme protéolytique pour pâtes à gaufrette liquides.

B : enzyme protéolytique pour biscuits et crackers.

C : complexe enzymatique protéolytique, amylolytique et

hémicellulolytique permettant une dégradation rapide du gluten.

Les tests effectués au farinographe avec le MBS et avec les enzymes révèlent tous une baisse de la résistance au pétrissage (Fig. 6). La réaction du MBS se produit beaucoup plus rapidement.

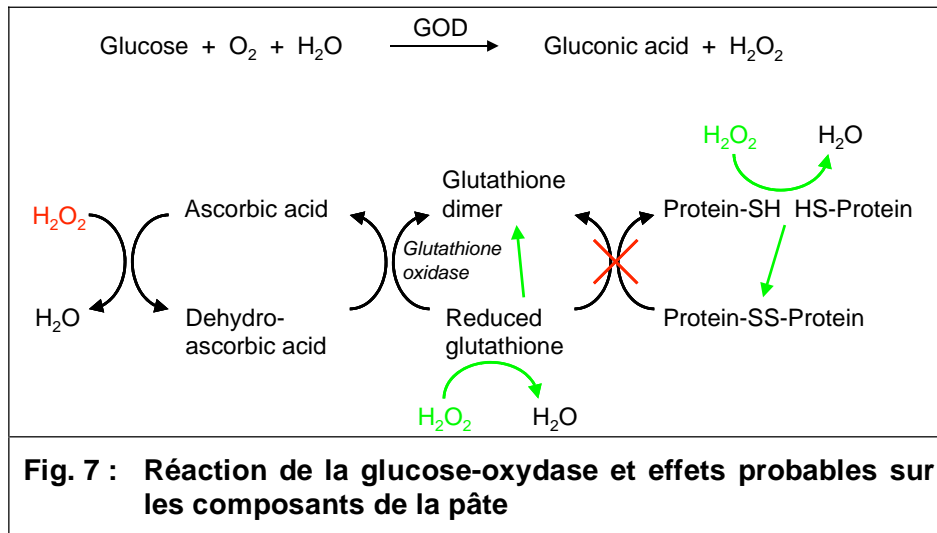
La présence d'oxygène atmosphérique contribue sans doute à faire augmenter à nouveau la résistance quand on continue d'agiter, certains des ponts disulfure rompus par le MBS se reconstituant (en haut à droite). La réaction plus lente, mais persistante, des enzymes conduit à une résistance minimale une fois que tout le substrat des enzymes a été dégradé.

La glucose-oxydase

La glucose-oxydase (GOD) est une enzyme qui est normalement dérivée de la moisissure *Aspergillus* et, parfois, d'espèces de *Penicillium*. Le miel est également riche en GOD. Cette enzyme provient des glandes du pharynx des abeilles. Toutefois, son utilisation est limitée car elle n'est pas très appropriée en raison du goût du support.

L'un des effets de la GOD dans la pâte est d'oxyder le glucose en acide gluconique à l'aide de l'oxygène de l'air. La légère acidification du milieu qui se produit pendant ce processus est négligeable. Un autre effet consiste à transformer l'eau en peroxyde d'hydrogène (Fig. 7). Cet oxydant attaque alors les groupes thiols du gluten, soit directement, soit par différentes voies métaboliques, en induisant la formation de ponts disulfure qui provoquent une agrégation des protéines. Le facteur limitant ce processus est la disponibilité de l'oxygène.

En effet, à côté d'autres réactions chimiques qui consomment de l'oxygène, la levure a aussi besoin d'oxygène avant le début de la fermentation proprement dite, car elle respire avant de se mettre à fermenter. Autant dire que la GOD ne peut agir dans des conditions favorables qu'à la surface de la pâte, là où l'oxygène est toujours disponible en abondance. On peut contourner ce problème techniquement en prenant certaines mesures pendant la préparation de la pâte, par exemple en opérant en surpression ou en assurant un apport d'oxygène supplémentaire par le dispositif d'agitation du mélange.

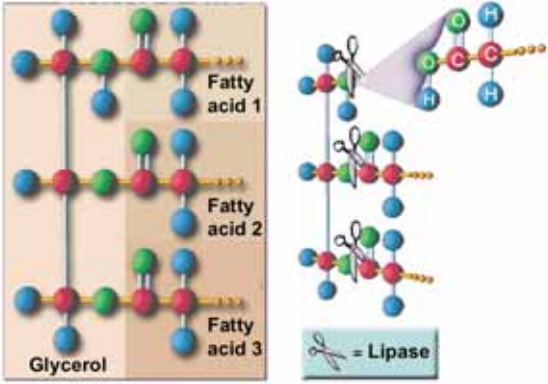


Les enzymes lipolytiques

La lipase est une autre enzyme miracle qui a été sous-estimée pendant longtemps. Cette enzyme convertit les lipides non polaires en diglycérides et monoglycérides, c'est-à-dire en émulsifiants (Fig. 8). Dans la farine de blé, il y a aussi des lipides polaires, notamment des phospholipides et des glycolipides (Fig. 9), qui peuvent être hydrolysés par des lipases ou phospholipases spéciales et sont ensuite plus hydrophiles.

Cette formation *in situ* d'émulsifiants conduit certes à un renforcement de la pâte et à un plus fort volume, mais elle n'améliore pas la durée de conservation, contrairement à ce qui se produit lorsqu'on ajoute des mono et des diglycérides dans une formulation de pain. On sait qu'en raison de leur interaction avec l'amidon, ces composés sont à même de réduire le rassissement. D'un autre côté, ils n'ont qu'un effet très limité sur le volume du pain. Il est très probable que si l'action des émulsifiants formés par voie enzymatique est aussi marquée à cet égard, c'est parce qu'ils sont déjà placés aux bons endroits de la pâte pour pouvoir en améliorer les propriétés. Par contre, il ne se forme pas suffisamment d'émulsifiant pour interférer avec la dégradation de l'amidon et avoir un effet anti-rassissement. Il est intéressant de noter qu'il existe une controverse quant à la nécessité d'ajouter de la matière grasse dans la pâte – et, dans l'affirmative, quelle matière grasse – pour que les lipases donnent un résultat satisfaisant. Les travaux que nous avons effectués pour notre part ont montré qu'un ajout de matière grasse réduisait l'efficacité de la lipase en « détournant » celle-ci pour ainsi dire de son véritable objectif, c'est-à-dire les lipides de la farine.

Il existe également un problème d'altération possible du goût qui est dû à la libération d'acides gras, en particulier lorsqu'il y a du beurre dans la pâte. Mais quoi qu'il en soit, les lipases se révèlent indéniablement d'une grande utilité dans certains champs d'application.

 <p>Fat molecule Diglyceride Fatty acid</p> <p>Fatty acid 1 Fatty acid 2 Fatty acid 3 Glycerol</p> <p>= Lipase</p>	<table border="1"> <tr><td>Lipides totaux</td><td>1,280</td></tr> <tr><td>Lipides non polaires</td><td>457</td></tr> <tr><td>Lipides polaires</td><td>823</td></tr> <tr><td>Phosphatides</td><td>250</td></tr> <tr><td>Acide phosphatidique</td><td>30</td></tr> <tr><td>Phosphatidylglycérol</td><td>51</td></tr> <tr><td>Phosphatidylcholine</td><td>27</td></tr> <tr><td>Phosphatidyléthanolamine</td><td>traces</td></tr> <tr><td>Phosphatidylsérine</td><td>15</td></tr> <tr><td>Lyso-phosphatidylcholine</td><td>117</td></tr> <tr><td>Lyso-phosphatidyléthanolamine</td><td>10</td></tr> <tr><td>Galactolipides totaux</td><td>249</td></tr> <tr><td>Autres lipides polaires</td><td>320</td></tr> </table>	Lipides totaux	1,280	Lipides non polaires	457	Lipides polaires	823	Phosphatides	250	Acide phosphatidique	30	Phosphatidylglycérol	51	Phosphatidylcholine	27	Phosphatidyléthanolamine	traces	Phosphatidylsérine	15	Lyso-phosphatidylcholine	117	Lyso-phosphatidyléthanolamine	10	Galactolipides totaux	249	Autres lipides polaires	320
Lipides totaux	1,280																										
Lipides non polaires	457																										
Lipides polaires	823																										
Phosphatides	250																										
Acide phosphatidique	30																										
Phosphatidylglycérol	51																										
Phosphatidylcholine	27																										
Phosphatidyléthanolamine	traces																										
Phosphatidylsérine	15																										
Lyso-phosphatidylcholine	117																										
Lyso-phosphatidyléthanolamine	10																										
Galactolipides totaux	249																										
Autres lipides polaires	320																										
<p>Fig. 8 : Effet de la lipase sur les molécules de corps gras</p>	<p>Fig. 9 : Composition lipidique moyenne (mg/100 g) de la farine de blé (0.405 % de cendres)</p>																										

Le pain à la vapeur

Le pain à la vapeur chinois est souvent fabriqué avec une farine de blé à teneur en protéines faible ou moyenne, suivant le type de pain dont il s'agit. Le process de préparation est tout à fait comparable à celui qui est utilisé dans les pays occidentaux pour le pain moulé, à cette différence près que le produit final est passé dans un panier ou une chambre à vapeur au lieu d'être cuit au four. Il y a donc certaines différences au niveau de l'apparence. Le pain cuit à la vapeur a une couleur blanche et une superficie douce et brillante. Les types les plus courants ont un poids de 30 à 120 g et une forme de boules ou de « coussins » (Fig. 10 et 11).



Fig. 10 : Pain à la vapeur en forme de coussin



Fig. 11 : Pain à la vapeur en forme de boule

Les enzymes telles que les amylases ou les hémicellulases améliorent globalement l'aspect du pain cuit à la vapeur. Certaines sortes de pain semblent même être un terrain de prédilection pour les lipases. L'effet de celles-ci sur la stabilité de la pâte et sur le volume du pain s'est révélé particulièrement spectaculaire lorsqu'il y a un pétrissage poussé ou une longue durée de fermentation. Dans le cas de l'exemple représenté sur la figure 12, le volume a connu un accroissement net de 70 % ! Etant donné toutefois que cet effet dépend fortement des conditions opératoires, il ne peut être obtenu avec toutes les méthodes de confection des pâtes.

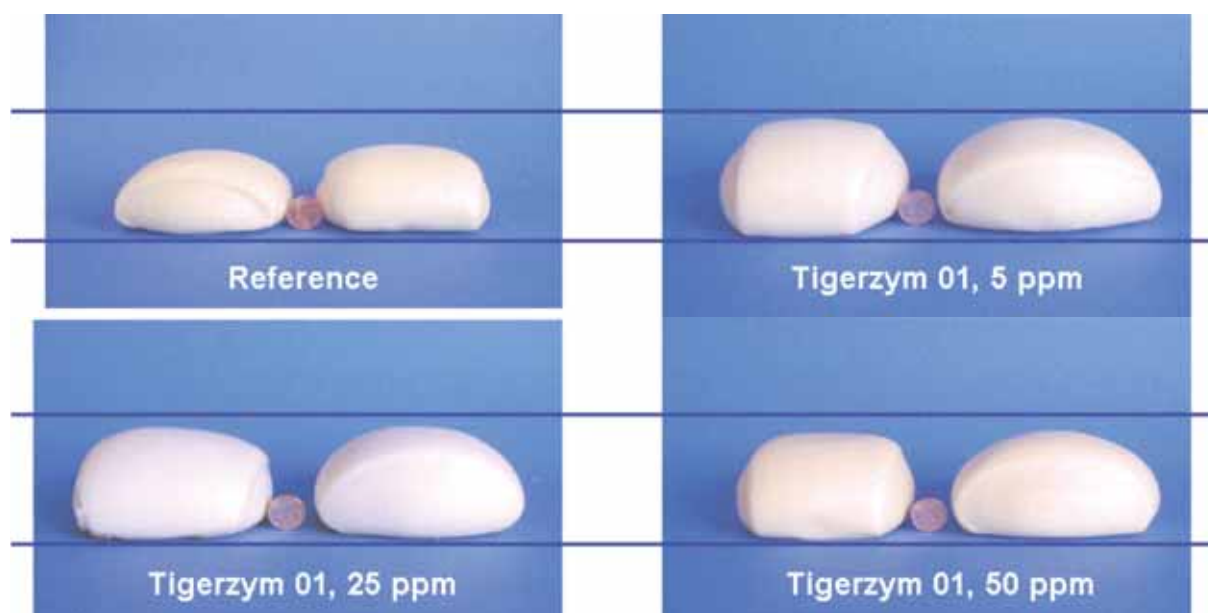


Fig. 12 : Effet d'un mélange enzymatique contenant de la lipase (Tigerzym 01) sur la taille de pains cuits à la vapeur. Les volumes obtenus pour 100 g de farine ont été respectivement de 300, 447, 477 et 512 mL (d'en haut à gauche à en bas à droite)

Le développement de la pâte favorise l'action bénéfique de la lipase, ce qui est probablement dû à des contacts plus importants avec l'oxygène de l'air. Lors de la lipolyse, les acides gras soumis à l'action de la lipoxygénase du blé – en présence de suffisamment d'oxygène – se transforment en hydroperoxydes. Ces derniers réagissent à leur tour avec les composants de la farine. Résultat : outre un renforcement de la pâte, on observe aussi un effet de blanchiment dû à l'oxydation des caroténoïdes de la farine. Comme les lipases ont une action spécifique suivant le type d'acide gras présent dans les triglycérides, toutes les lipases ne conviennent pas pour l'amélioration du pain cuit à la vapeur.

Pâtes alimentaires

La lipase a aussi une action visible sur les pâtes. Le « Pastazym » est une préparation à base de lipase qui contient également une sélection d'autres enzymes. La lipase est responsable de l'effet éclaircissant ainsi que de la majeure partie de l'effet raffermissant représentés respectivement sur les figures 13 et 14. Ces deux effets ne sont pas seulement détectables au laboratoire, à l'aide d'instruments sophistiqués, ils sont aussi perceptibles chez le consommateur (Fig. 15). Il y a toutefois bien entendu certaines limites d'utilisation. Les pâtes fabriquées exclusivement avec du blé *durum* ne peuvent être améliorées, et l'incorporation d'œufs masque aussi l'effet des enzymes. C'est lorsque les pâtes sont fabriquées uniquement avec du blé dur ou du blé tendre que l'efficacité est la plus grande. L'effet de blanchiment que l'on peut observer sur les figures 13 et 15 n'est toutefois pas toujours souhaitable, certains consommateurs préférant les pâtes de teinte plus jaune. Mais même en ce cas, l'utilisation d'enzymes peut s'avérer malgré tout utile, par exemple si la farine utilisée est mouchetée ou de teinte grisâtre. Les enzymes atténuent ces deux défauts et permettent ainsi d'avoir un fond clair pour utiliser les colorants alimentaires à pigments jaunes autorisés (Fig. 16).

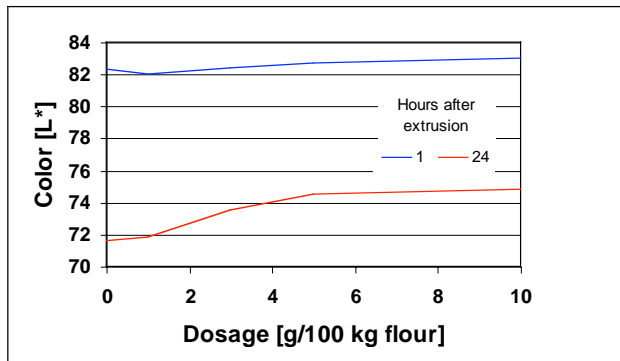


Fig. 13 : Effet du Pastazym sur la couleur de pâtes fraîches crues (déterminé à l'aide du système colorimétrique de Minolta)

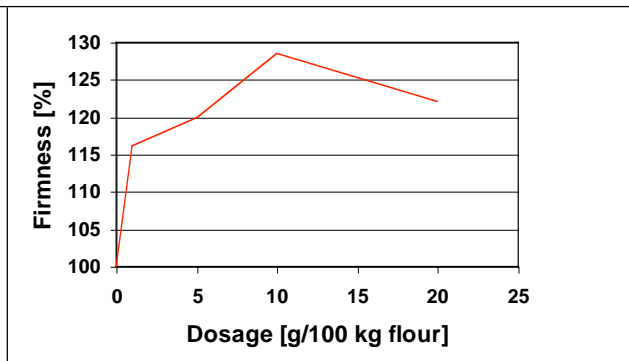


Fig. 14 : Effet du Pastazym sur la fermeté des pâtes fraîches crues (déterminé à l'aide de l'analyseur de texture TA XT2)



Fig.15 : Effet du Pastazym sur la couleur des pâtes fraîches crues



Fig. 16 : Pâtes crues non traitées (à gauche) et traitées au Pastazym + EMCEcolor BC (β-carotène)

Remplacement du bromate de potassium

Le remplacement du bromate de potassium est certes moins spectaculaire, mais sans doute beaucoup plus important pour les process de panification. Cet améliorant efficace et très bon marché se voit en effet interdit dans de plus en plus de pays pour des raisons d'ordre sanitaire.

Pour relever ce challenge et remplacer le bromate, on a fait appel à d'autres agents oxydants et, aussi, à des enzymes oxydantes. Or, de manière surprenante, celles-ci se sont révélées d'une utilité limitée. L'amylase, les xylanases et, maintenant aussi, les lipases s'avèrent beaucoup plus efficaces, lorsqu'elles sont combinées à des agents oxydants sans risque pour la santé, comme l'acide ascorbique. La figure 17 présente les résultats d'une étude portant sur le remplacement du bromate dans des process de type 'no-time' (Chorleywood). La figure 18 illustre la technologie la plus récente, à savoir l'effet obtenu avec de l'Alphamalt BX, la préparation enzymatique leader du marché pour le remplacement du bromate, qui convient aussi bien pour les procédures de fabrication courtes que longues (3 – 24 h).

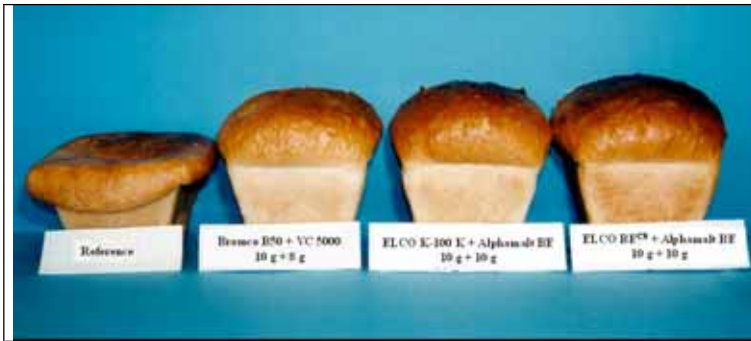


Fig. 17 : Remplacement du bromate de potassium dans une pâte *no-time*. Bromco B50 = 50 % de bromate de ; Alphamalt VC 5000 = α -amylase fongique avec 5,000 SKB/g; Alphamalt BE = mélange enzymatique ; ELCO K-100 K = acide ascorbique, 100 % ; ELCO BE CS = acide ascorbique encapsulé, 70 % d'acide ascorbique.



Fig. 18 : Remplacement du bromate de potassium en fermentation longue. Alphamalt VC 5000 = α -amylase fongique avec 5,000 SKB/g ; Alphamalt BX = mélange enzymatique avec éléments oxydants.