

Les enzymes en tant que produits industriels

Chaque organisme produit, généralement en petite quantité, un grand nombre d'enzymes impliquées dans des mécanismes cellulaires. Toutefois, quelques enzymes sont produites en beaucoup plus grande quantité par certains micro-organismes et sont excrétées au lieu d'être retenues à l'intérieur de la cellule. Ces enzymes extracellulaires, appelées **exo-enzymes**, peuvent digérer des polymères insolubles tels que de la cellulose, de l'amidon ou des protéines. Les produits de digestion sont ensuite transportés à l'intérieur de la cellule où ils sont utilisés comme nutriments. Les enzymes sont des biocatalyseurs très utiles car elles ont pour cible un seul groupement chimique fonctionnel et peuvent faire la différence entre plusieurs groupements fonctionnels de la même molécule. De plus, dans certains cas, comme avec les stéroïdes, elles catalysent des réactions de manière *stéréospécifique*, conduisant à un seul des énantiomères possibles. De nombreuses enzymes sont utilisées dans les industries agroalimentaires et pharmaceutiques.

APPLICATION DES ENZYMES MICROBIENNES

Enzyme	Source	Application	Industrie
Amylase (digestion de l'amidon)	Ch	Pain	Boulangerie
	Bac	Couchage du papier	Papeterie
	Ch	Sirop de glucose	Agroalimentaire
	Bac	Amidon d'empesage à froid	Textile
	Ch	Aide digestif	Pharmacie
	Bac	Déglaçage	Textile
	Bac	Détachage, détergents	Détergents
Protéase (digestion de l'amidon)	Ch	Pain	Boulangerie
	Bac	Détachage	Nettoyage à sec
	Bac	Attendrisseur	Viande
	Bac	Nettoyage des blessures	Médecine
	Bac	Déglaçage	Textile
Invertase (digestion du saccharose)	Lev	Sucreries à cœur liquide	Confiserie
		Glucose oxydase	Ch
Glucose isomérase	Bac	Sirop de fructose	Boissons
Pectinase	Ch	Clarification	Vin, jus de fruits
Présure microbienne	Ch	Coagulation du lait	Fromagerie
Cellulase	Bac	Assouplissant, dépeluchant	Détergents
Lipase	Ch	Dissolution des graisses	Laiterie, détergents
Lactase	Ch	Séparation du lactose en glucose et galactose	Laiterie
ADN-polymérase	Bac Archaea	Réplication de l'ADN dans la technique de PCR (<i>polymerase chain reaction</i> – voir section 7.9)	Biologie moléculaire

Ch = Champignon ; Bac = Bactérie.

Protéases, amylases et sirops de fructose

Les enzymes sont produites commercialement à partir de champignons et de bactéries. Celles produites en masse sont les **protéases** bactériennes utilisées dans les détergents pour lessives, qui contiennent également des *amylases*, des *lipases*, des *réductases* et d'autres encore. Beaucoup de ces enzymes, principalement des espèces du genre *Bacillus*, comme *Bacillus licheniformis*. Ces enzymes, qui ont des pH optimaux situés entre 9 et 10, restent actives au pH d'action alcalin des lessives ménagères. Les amylases et les glucoamylases sont d'autres enzymes importantes commercialement, car utilisées dans la production de glucose à partir d'amidon. Le glucose ainsi produit peut être converti par la *glucose isomérase* en fructose, qui a un pouvoir sucrant deux fois plus important que le glucose. Le *sirop de fructose*, obtenu à partir d'amidon de maïs, de blé ou de pomme de terre, a une importance majeure dans la production des boissons sucrées. On en produit dix millions de tonnes par an.

Extrémozymes : des enzymes de procaryotes des environnements extrêmes

Certains procaryotes, appelés *hyperthermophiles*, croissent à des températures très élevées. Ceci n'est possible que parce qu'ils produisent des macromolécules stables à ces températures, dont des enzymes. Le terme **extrémozyme** a été adapté aux enzymes fonctionnant dans des conditions extrêmes de température ou de pH acide. Les micro-organismes qui les produisent sont appelés des *extrémophiles*. Comme beaucoup de processus chimiques fonctionnent mieux à température élevée, ces extrémozymes sont très utilisés en industrie et en recherche. C'est le cas des ADN polymérase *Taq* et *Pfu*, utilisées en PCR et des protéases, amylases, cellulases, pullulanases et xylanases thermostables dans le domaine des lessives. D'autres extrémozymes actives à faible température, à forte concentration en sels ou à pH faible ou élevé sont connues et, pour certaines, commercialisées.

Enzymes immobilisées

Les **enzymes immobilisées** sont des enzymes qu'on a liées à un support solide. L'immobilisation rend plus facile la conversion enzymatique d'un substrat à grande échelle et réduit la dénaturation possible de l'enzyme en stabilisant sa structure. Un bon exemple appliqué en est l'industrie de conversion en sirop de fructose de l'amidon de maïs par traitement séquentiel par une amylase et une glucose isomérase. La conversion du glucose en fructose est d'environ 50 % mais le rendement peut être amélioré en séparant le fructose et en recyclant le glucose restant. Il y a trois approches de base de l'immobilisation enzymatique :

1. *Liaison de l'enzyme à un support.* La liaison peut être réalisée par adsorption, par liaison ionique ou covalente. Parmi les supports utilisés on trouve des celluloses modifiées, du charbon actif, des argiles, des morceaux de brique ou de matériau poreux, de l'oxyde d'aluminium et des billes de verre .

2. *Coréticulation des molécules d'enzymes.* La liaison des molécules d'enzymes avec une protéine neutre et entre elles est effectuée par réaction avec un agent chimique, par exemple le glutaraldéhyde qui va former des ponts avec les groupements aminés des lysines des protéines. Les aldéhydes ont aussi une action dénaturante, mais si la réaction est effectuée correctement, une grande partie de l'activité enzymatique est conservée. Notons que le glutaraldéhyde a aussi une action antiseptique.

3. *Inclusion enzymatique dans un gel ou une semi-membrane perméable.* Les enzymes peuvent être incluses par exemple dans des gels d'alginate, des microcapsules, des membranes de polymère semi-perméables ou des polymères fibreux comme l'acétate de cellulose . Chacune de ces méthodes a ses avantages et ses inconvénients : le procédé utilisé dépend de l'enzyme, du maintien de son activité après immobilisation, de l'application industrielle envisagée et de son échelle.

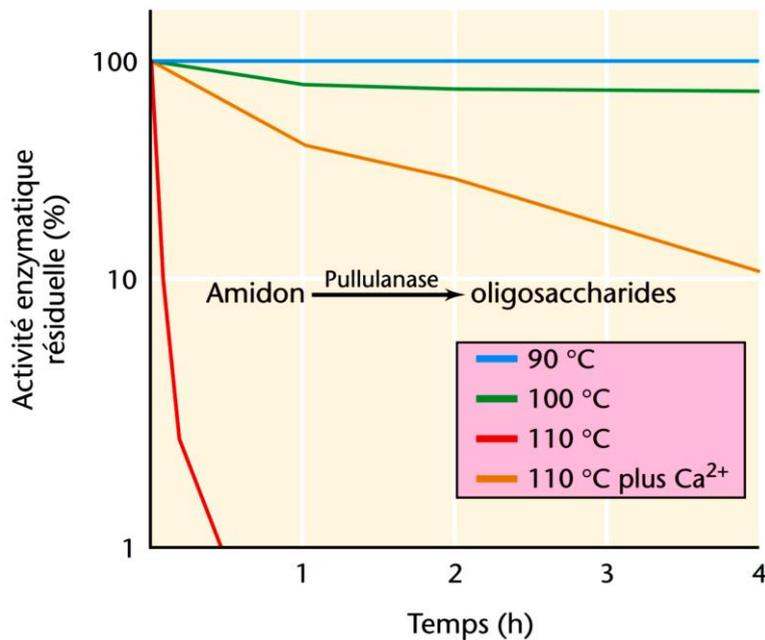


FIGURE Extrémozymes : enzymes fonctionnant dans des conditions extrêmes.
Enzymes thermostables : la pullulanase est extraite de *Pyro-coccus woesei*, un hyperthermophile dont la température optimale de croissance est de 100 °C. Le calcium améliore la stabilité à la chaleur de cette enzyme jusqu'à 110 °C

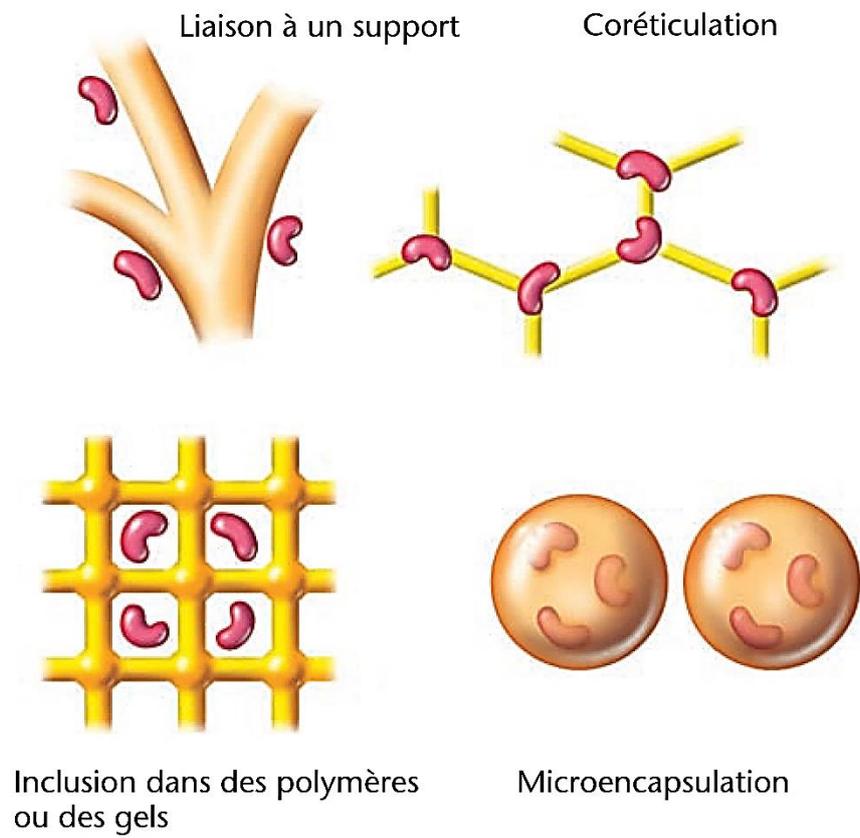


FIGURE Procédés d'immobilisation d'enzymes . Les molécules d'enzyme sont représentées en rouge. Le procédé utilisé varie selon l'enzyme, la réaction et l'échelle.