# TD 2 : Application des enzymes dans l'industrie

**Introduction**

De nos jours, les enzymes sont largement utilisées en industrie alimentaire, médicale, pharmaceutique et chimique (fabrication du papier, de détergents…). Ceci est devenu possible grâce au grand développement des recherches qui portent sur la maitrise de la production des enzymes, leur extraction, leur purification et le contrôle de leur activité.

## Exemple : Utilisation d'enzymes en idustrie alimentaire : Production de jus de fruits

Les procédés industriels de fabrication de jus utilisent systématiquement des enzymes lors des opérations de macération, d'extraction, de filtration et de clarification afin d'améliorer le rendement de la production désirée.

La paroi des cellules des fruits est composée d'un réseau complexe de polysaccharides dont : la cellulose, les hémicelluloses et la pectine ; avec des interactions entre les structures. L'utilisation des enzymes sélectives tels que les cellulases, les hémicellulases et les pectinases permet la dégradation de ces composants.

Les cellulases et les hémicellulases jouent un rôle prédominant dans l'hydrolyse des substrats lignocellulosiques, alors que les enzymes pectinolytiques sont utilisées pour dégrader les structures pectiques.

## 1. Les pectinases :

Enzymes pectinolytiques hautement spécifiques qui appartiennent à la classe des hydrolases et des lyases et qui sont largement distribuées dans les plantes supérieures et dans les micro-organismes. Vu leur grand intérêt, les pectinases sont très demandées sur le marché d'enzymes à intérêts biotechnologiques et surtout dans le secteur alimentaire.

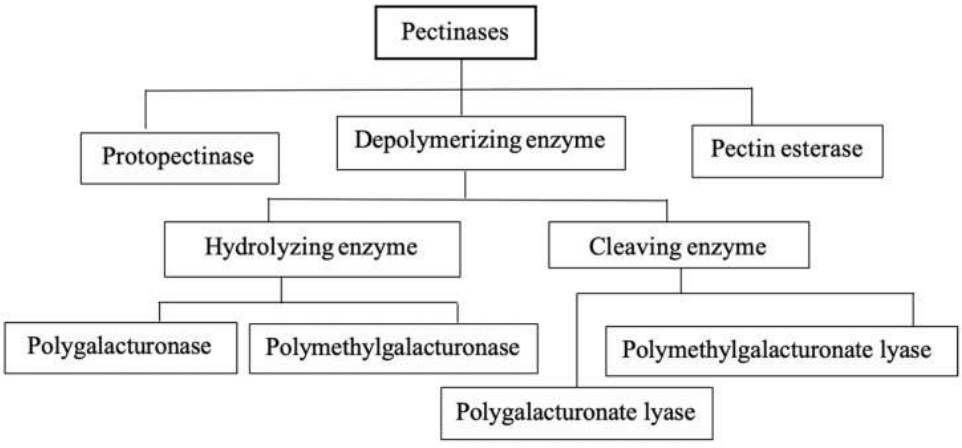



**Fig.1** : Classification des pectinases selon leur action (Sherstha *et al.,* 2021)

### a. ***Problèmes à résoudre :***

- Le broyage du fruit provoque la formation d'une phase liquide et une phase semi-gélifiée ayant une forte capacité de rétention d'eau ce qui limite le rendement en jus
- Les pulpes des fruits sont très difficiles à filtrer ou à centrifuger industriellement.
- L'obtention d'un jus qui n'est pas « limpide ».

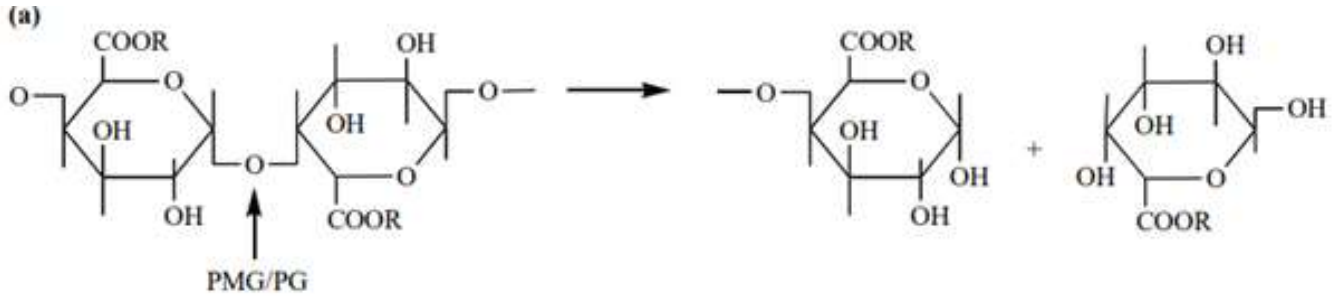
### b. ***Réactions enzymatiques :***

Les préparations pectinolytiques introduites dans le procédé de fabrication de jus sont généralement composées de pectine estérases, de pectine hydrolases et de pectine lyases.

**L'action PG (polygalacturonases) et de la PMG (polymethylgalacturonases)**

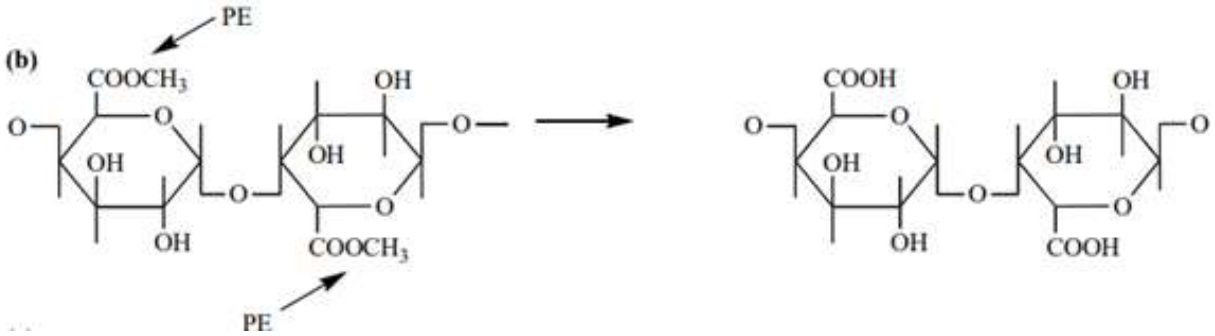
- **PG** : elle catalyse l'hydrolyse des liaisons α 1-4-glycosidiques dans l'acide polygalacturonique produisant du D-galacturonate.

- **PMG :** Elle catalyse le clivage hydrolytique des liaisons α 1-4-glycosidiques dans le squelette de la pectine formant le 6-méthyl-D-galacturonate.



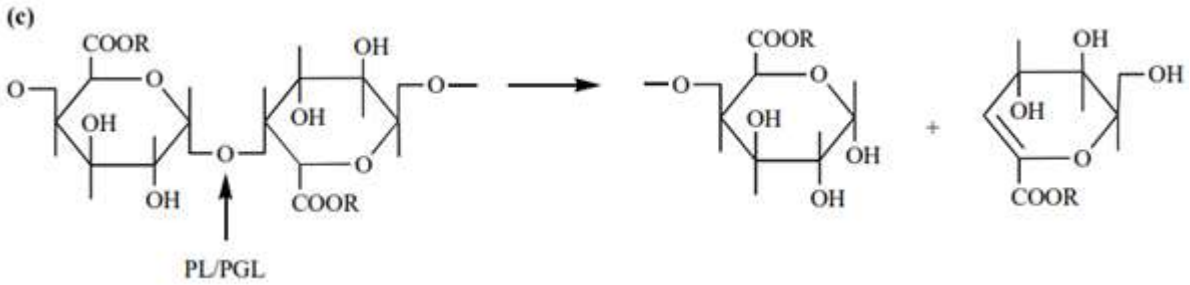

**L'action de la PE (pectine estérase)** :

Elle catalyse la désestérification du groupe méthoxyle de la pectine formant l'acide pectique et le méthanol.



**L'action de la PL : pectine lyase**

Elle catalyse le clivage aléatoire de la pectine avec trans-élimination des liaisons glycosidiques.




**(Les figures a, b et c illustrent les actions de quelques pectinases sur la pectine : Gang, 2016)**

PL : pectine lyase et PGL : polygalacturonate lyase

***c. Avantages de l'utilisation des pectinases :***

- ✓ Amélioration du rendement d'extraction de jus
- ✓ Réduction de la viscosité.
- ✓ Réduction du temps de filtration jusqu'à 50 %
- ✓ Augmentation de la clarification des jus (obtention de jus limpides)

***d. Inconvénients :***

La production de pectinases dont la plupart sont d'origine microbienne (provenant principalement d'*Asergillus niger* et de *Rhizopus oryzæ*) est coûteuse, ce qui limite leur utilisation à grand échelle.

## 2. Les cellulases :

Les enzymes cellulolytiques hydrolysent les liaisons bêta-1,4-glucosidiques de la cellulose, un homopolysaccharide composé de glucose. Elles sont produites par plusieurs espèces de bactéries aérobies et anaérobies, des champignons filamenteux et des actinomycètes.

***a. Problèmes à résoudre***

La présence de polysaccharides cellulosiques qui constituent environ 30 % de la matière sèche de la paroi cellulaire des fruits. Ceci réduit la clarification du produit et diminue le rendement de sa production.

**b. Réactions enzymatiques :**

Pour l'hydrolyse complète de la matière cellulosique, trois types différents de cellulases sont nécessaires, l'endoglucanase, l'exoglucanase (cellobiohydrolase) et la bêta-glucosidase (cellobiase).

- Les β-endoglucanases (**EGL**) : attaquent les fibres de cellulose au milieu de la chaîne
- Les cellobiohydrolases (**CBH**) : attaquent les fibres de celluloses aux extrémités et libèrent des tétrasaccharides ou du cellobiose (disaccharide),
- Les β-glucosidases (**BGL**) : hydrolysent le cellobiose (le diholoside) ou les tétrasaccharides en résidus glucose, à partir des extrémités non réductrices de la chaîne.

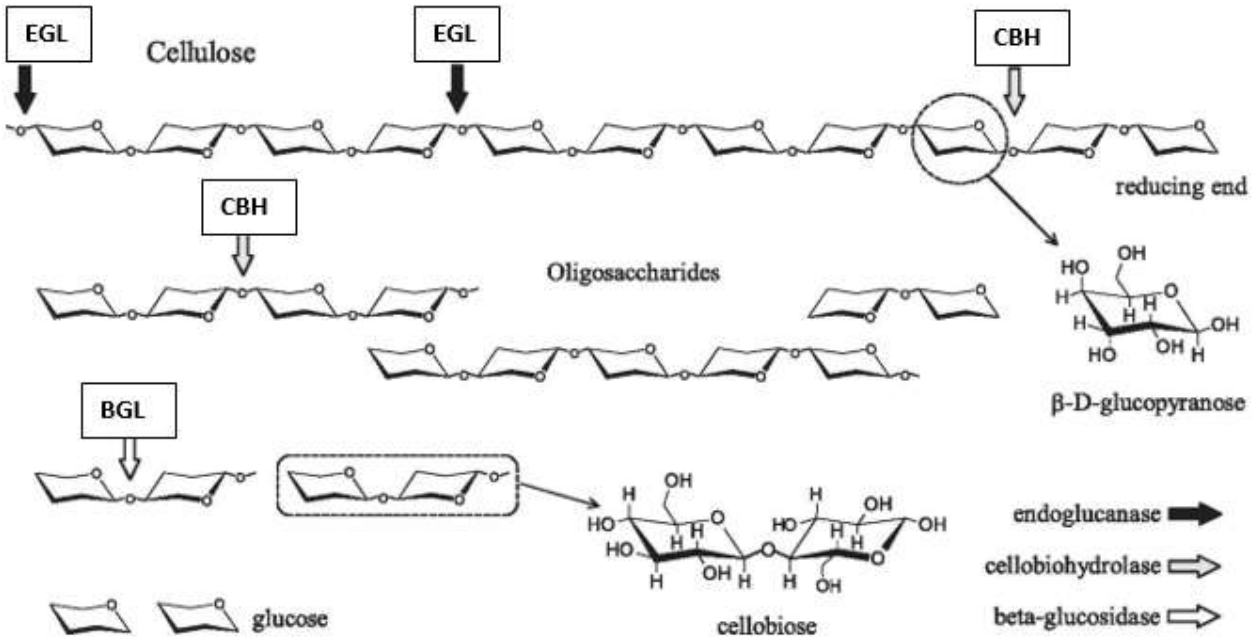



**Fig. 3.** Schéma représentatif du mode d'action d'un complexe d'enzymes cellulolytiques sur la cellulase (De Souza & Kawaguti, 2021)

### c. Avantages :

- Libération accrue de sucres simples et réduction de l'amertume
- Amélioration de la clarification du produit.

## 3. Hémicellulases

Les hémicelluloses sont des polysaccharides dont le squelette est composé de résidus β-(1,4)-D-pyranose et de courtes chaines latérales fixées sur le squelette. Les quatre groupes constituant sont : les xylanes, les xyloglucanes, les mannanes et les β-1,3;1,4-glucanes. Dans cet exemple on expliquera la décomposition du xylane.

Les hémicellulases sont un groupe d'enzymes qui sont capables de décomposer les pentosanes de l'hémicellulose

### a. Problèmes à résoudre :

La structure complexe des hémicellulases gêne certaines opérations technologiques comme la filtration.

### b. Réactions enzymatiques

Une dégradation efficace de l'hémicellulose nécessite l'action synergique de nombreuses enzymes hémicellulolytiques, la figure ci-dessous présente l'hydrolyse d'un xylane

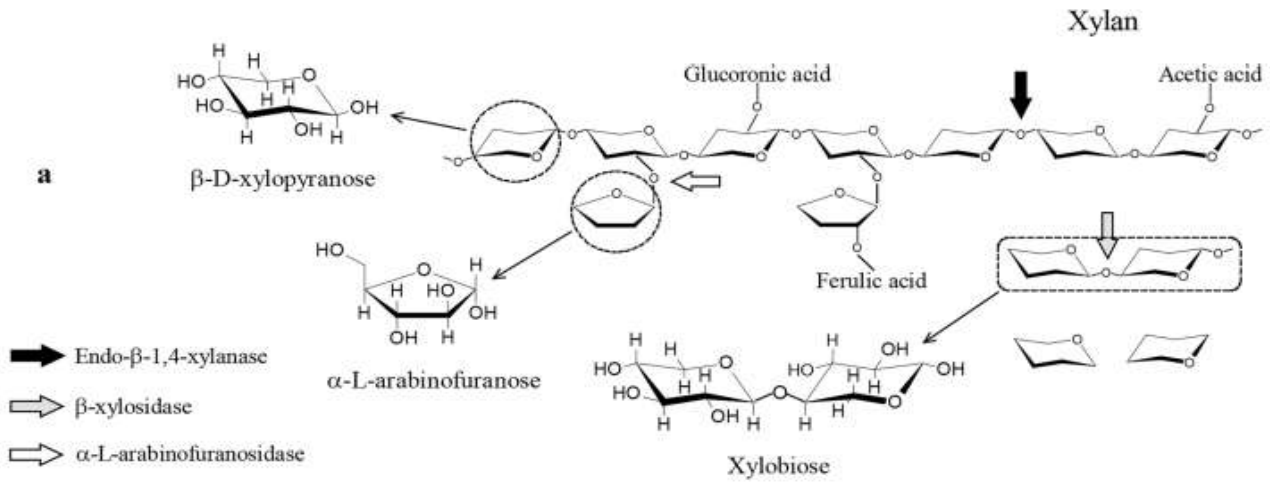



**Fig.4** : Mode d'action de certaines enzymes hémicellulolytiques sur des composants de l'hémicellulose (De Souza & Kawaguti, 2021)

- La xylane-endoxylanase clive le squelette du xylane pour libérer des xylooligosaccharides plus courts, qui sont hydrolysés par des enzymes accessoires
- Les bêta-xylosidases libèrent des monomères de xylose à partir du xylobiose
- L'activité arabinofuranosidase libère le L-arabinose de la chaîne xylane.

### c. Avantages :

- Amélioration de l'hydrolyse de la cellulose qui est fortement liée à l'hémicellulose
- Diminution du trouble du jus et augmentation du rendement de la production.