

Les bioconversions sont réalisées soit au moyen d'enzymes libres ou fixées, soit au moyen de cellules entières libres ou fixées. L'immobilisation des cellules ou des enzymes permet leur réutilisation, le micro-organisme joue le rôle d'un complexe enzymatique.

Intérêt des bioconversions réside dans le fait que les transformations catalysées s'effectuent dans des conditions expérimentales (pH et température) douces et que les molécules sont modifiées de façons spécifique et le plus souvent sans réaction secondaires.

## I. Bioconversion des sucres

Ces bioconversions sont réalisées par des enzymes ou des cellules libres ou immobilisées.

Les réactions de bioconversion des sucres sont de différents types : hydrolyse, oxydation, réduction, isomérisation.

### I.1. Production du fructose

Le fructose est un sucre possédant des qualités diététiques et industrielles intéressantes (faible cariogénicité, non insulinodépendant, pouvoir sucrant plus élevé que celui du glucose, faible aptitude à la cristallisation...). De plus, les sirops à haute teneur en fructose sont indispensables à de nombreuses industries alimentaires.

**Le fructose peut être obtenu par :**

- Conversion du glucose sous l'action de la glucose isomérase ;
- Hydrolyse de l'inuline par des inulinases ;
- Action de l'invertase sur le saccharose (*Saccharomyces cerevisiae*).

### I.2. Hydrolyse du lactose

L'hydrolyse du lactose en glucose + galactose se fait par une lactase de lavure *Kluyveromyces lactis*.

Le meilleur procédé pour l'hydrolyse du lactosérum ou le perméat d'ultrafiltration est celui qui utilise la lactase d'*Aspergillus niger* immobilisée sur bille de verre.

## II. Bioconversion des protéines et des acides aminés

Les bioconversions conduisant aux acides aminés combinent la synthèse chimique d'un

ou plusieurs précurseurs au moyen d'un système enzymatique microbien.

Différentes protéases sont utilisées pour la production d'arômes (protéases immobilisées de *Penicillium duponti* pour l'hydrolyse de protéine de soja ; Pronase pour l'hydrolyse de la caséine). Les produits finaux de ces réactions enzymatiques sont des petits peptides et des acides aminés qui contribuent à la fraction aromatique non volatile et sont généralement des précurseurs de la fraction aromatique volatiles chez les végétaux.

Les protéases et les peptidases sont utilisées dans l'industrie fromagère. Elles sont impliquées dans les processus de maturation des fromages.

### III. Bioconversion des stéroïdes et triglycérides

Il s'agit d'un domaine (chimie pharmaceutique) où les applications de bioconversions sont très nombreuses. Il ya différents types : oxydation, réduction, hydrolyse, réactions de condensation, introduction d'hétérofonctions, isomérisation, formation de nouvelles liaisons C-C.

- obtention de la corticostérone à partir de la cortexone, la 11- $\beta$ -hydroxyprogesterone à partir de la progesterone...Les principales souches utilisées appartiennent aux genres *Aspergillus*, *Fusarium*, *Rhizopus*, *Curvularia* (notamment *Curvularia lunata*).
- Les acides gras libres à chaînes courtes ont un rôle important dans la saveur des produits laitiers en intervenant, par exemple, sur les caractéristiques et l'intensité de l'arôme de certains fromages. La libération d'acide butyrique par des lipases surtout actives sur les triglycérides comportant des acides gras en C4, C6 ou C8, comme celle du *Mucor miehei*, permet d'obtenir des notes aromatiques de type beurre. L'hydrolyse des triglycérides ayant des acides gras à chaîne courte peut être améliorée par l'utilisation des lipases immobilisées de *Candida cylindracea* et de *Rhizopus arrhizus*.

### IV. Bioconversion des antibiotiques

Un grand nombre d'antibiotiques peuvent être modifiés par des micro-organismes. Ces transformations ont un grand intérêt car elles permettent d'essayer d'apporter une solution au développement de la résistance à de nombreux antibiotiques anciens ( $\beta$ -lactames et antibiotiques aminoglycosidiques).

Ces biotransformations soit par les cellules libres, soit par les enzymes ou les cellules immobilisées. Il existe 11 types de ces réactions : hydrolyse ou désacylation, acylation, phosphorylation, nucléotidylation (adenylation), oxydation, réduction, amination ou désamination, glycosidation, méthylation ou déméthylation, isomérisation, hydratation.

- obtention d'acide pénicillinique à partir de la pénicilline (*Pseudomonas aeruginosa*)
- obtention de novenamine à partir de novobiocine (*Alcaligène sp.*)

## V. Quelques exemples de bioconversions

### V.1. Préparation d'un hydrolysat de plumes de volailles à usage microbiologique par bioconversion enzymatique ou par fermentation de *Bacillus pumilus*

La souche *Bacillus pumilus*, isolée à partir d'eau usée d'abattoir, a été utilisée pour la production d'hydrolysats de plumes, soit par bioconversion enzymatique en utilisant son extrait protéolytiques soit par fermentation sur milieu de base de plumes. L'extrait protéolytique produit par cette souche est capable de dégrader les plumes de volailles après 2 heures d'incubation à 45°C et à pH 8,5. Le maximum de production d'hydrolysat de plumes est obtenu en cultivant la souche de *B. pumilus* pendant deux jours sur milieu contenant 50g/l de plumes intactes à 45°C et à un pH initial égal à 10. Les deux hydrolysats de plumes produits par bioconversion enzymatique (HPE) ou par fermentation (HPF) sont digestibles comparé au plumes non traitées. La substitution de la peptone de caséine par l'HPE et l'HPF dans des milieux de culture a permis une croissance d'*E. coli* et de *S. cerevisiae* comparables à celle obtenue sur milieu témoin. D'autre part, plusieurs bactéries du genre *Bacillus* se sont avérées capables de croître et de produire des protéases sur milieux contenant des hydrolysats de plumes (HPF et HPE) comme source d'azote.

### V.2. Production directe d'éthanol à partir de l'amidon par co-culture de deux souches de levures *Schwanniomyces sp* et *Saccharomyces cerevisiae* : application à la bioconversion de l'amidon de manioc et de maïs

Les substrats amylacés sont les plus abondants après la cellulose, ils constituent des sources importantes de matières premières valorisables, en particulier dans la production d'éthanol. Les levures de distillerie communément utilisées étant dépourvues de l'activité amylasique, la production d'éthanol à partir de l'amidon nécessite un prétraitement

d'hydrolyse généralement onéreux à cause du coût élevé des enzymes amylolytiques utilisées et la dépense énergétique liée à l'hydrolyse.

Afin d'améliorer le rendement de la production d'éthanol à partir de matières premières amyloacées, une souche de levure amylolytique (*Schwanniomyces sp*) isolée du sol a été testée en culture pure et en co-culture avec une souche commerciale de *Saccharomyces cerevisiae*. En culture pure l'activité amylasique de la souche de *Schwanniomyces sp* dépend de la source d'amidon utilisée ; elle atteint 101,5 U/ml et 80,0U/ml respectivement dans les moûts constitués de 8% (p/v) de farine de maïs et de manioc. Cette souche a été capable d'hydrolyser l'amidon toute seule et de convertir les sucres simples obtenus jusqu'au stade de l'éthanol. La co-culture de cette souche avec *S cerevisiae* augmente le rendement de la fermentation éthanolique qui atteint 96,4%.

### V.3. Biotransformation de l'amidon de manioc en acide L(+) lactique

Un criblage de champignons filamenteux du genre *Rhizopus* capables de se développer sur des grains de manioc a permis de sélectionner une souche de *Rhizopus arrhizus*. Les conditions d'incubation de ce microorganisme ont été optimisées au moyen du dispositif de fermentation en milieu solide. Elles ont été établies comme suit: grains de manioc cru humidifiés à 50% avec un milieu minéral de base, inoculés à raison de  $2 \times 10^7$  spores par gramme de substrat sec et incubes à 35°C pendant 48h. Il a été observé qu'à la fin de la culture il existe une accumulation de 18 grammes de glucose par 100 grammes de manioc sec. Cette transformation a été liée à une production des enzymes amylases.

Pour la production d'acide L(+) lactique, une souche de *Rhizopus oryzae* a été identifiée comme la plus performante. En effet, en utilisant comme support solide la bagasse de canne à sucre à laquelle une solution nutritive à base de glucose est absorbée, ce microorganisme s'est révélé capable de transformer 180 g/l de glucose en 136 g/l d'acide lactique à raison de 1,43 g/l/h. Ceci avec une aération de 20 ml/min.

### V.4. Production de bioéthanol à partir de biomasse lignocellulosique

Le bioéthanol est le résultat de la bioconversion fermentaire de sucres par des microorganismes, généralement des levures. Les matières premières végétales alcooligènes sont variées et peuvent être classées en trois catégories :

- les plantes saccharifères comme la betterave ;

- les plantes amyloacées comme les céréales ;
- les plantes lignocellulosiques comme le bois, la paille mais aussi les déchets de l'industrie papetière...

Le bioéthanol produit à partir des deux premières filières est dit de première génération car les procédés de production sont maintenant bien maîtrisés. Celui produit à partir de la lignocellulose est dit de second génération car sa production à l'échelle industrielle est plus difficile vu la complexité du substrat.

#### V.4.1. Lignocellulose

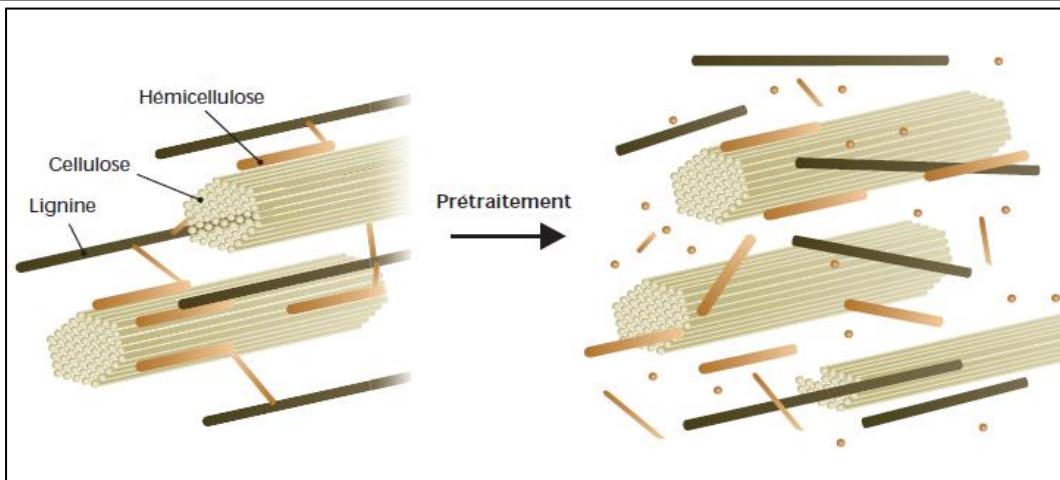
La biomasse lignocellulosique est une des principales ressources renouvelables présentes sur terre. Elle est composée essentiellement de trois polymères (la cellulose, l'hémicellulose et la lignine), dont les teneurs sont variables d'une espèce végétale à l'autre.

À côté de ces trois éléments, d'autres sont présents dont les pectines. La cellulose est le polymère dont la concentration est la plus abondante (35 à 50 % de la biomasse). Plus de cinq cents résidus glucosyles liés entre eux par une liaison  $\beta$  1-4 forment ce polymère, lui conférant une structure linéaire.

Le second composé présent en concentration importante (20 à 30 %) est l'hémicellulose. Sa composition est plus complexe que la cellulose. Sur le squelette formé de résidus glucose viennent se fixer de nombreuses ramifications de résidus de type pentose et hexose. Cette substance est présente entre les microfibrilles de cellulose et permet par ses ramifications, la liaison entre les molécules de cellulose et celles de pectine. Enfin, la lignine, troisième composant majeur de la biomasse (15 à 25 %), est un polymère insoluble composé d'unités phénylpropane.

#### V.4.2. Procédé de production de bioéthanol

La production d'éthanol à partir de biomasse lignocellulosique est indirecte, elle nécessite obligatoirement des prétraitements physiques, chimiques ou physicochimiques. Ceux-ci ont pour objectif de désolidariser la matrice lignocellulosique et de libérer la cellulose et l'hémicellulose du complexe formé avec la lignine.



Prétraitement de la lignocellulose

Ces prétraitements permettent une hydrolyse complète ou presque complète des hémicelluloses en plus d'une déstructuration de la biomasse, mais ils ne permettent qu'une hydrolyse partielle de la cellulose. Celle-ci est généralement réalisée par addition d'un complexe cellulolytique. Le jus ainsi hydrolysé est ensuite fermenté en conditions anaérobiques. La levure *Saccharomyces cerevisiae*, traditionnellement utilisée pour la fermentation éthanolique, ne fermente que les hexoses (C6) et n'est pas apte à fermenter les pentoses (C5). C'est pourquoi, la plupart des installations industrielles actuelles ne sont pas capables de transformer tous les sucres issus de l'hydrolyse de la lignocellulose en éthanol.

D'autres levures comme *Candida shehatae* ou *Pichia stipitis* fermentent les pentoses et pourront être développées à moyen terme, ce qui multipliera le rendement de bioconversion éthanol/matières premières par un facteur 1,4 à 1,5. Après fermentation, l'éthanol est séparé du jus par distillation, rectification et déshydratation pour être utilisé comme biocarburant.

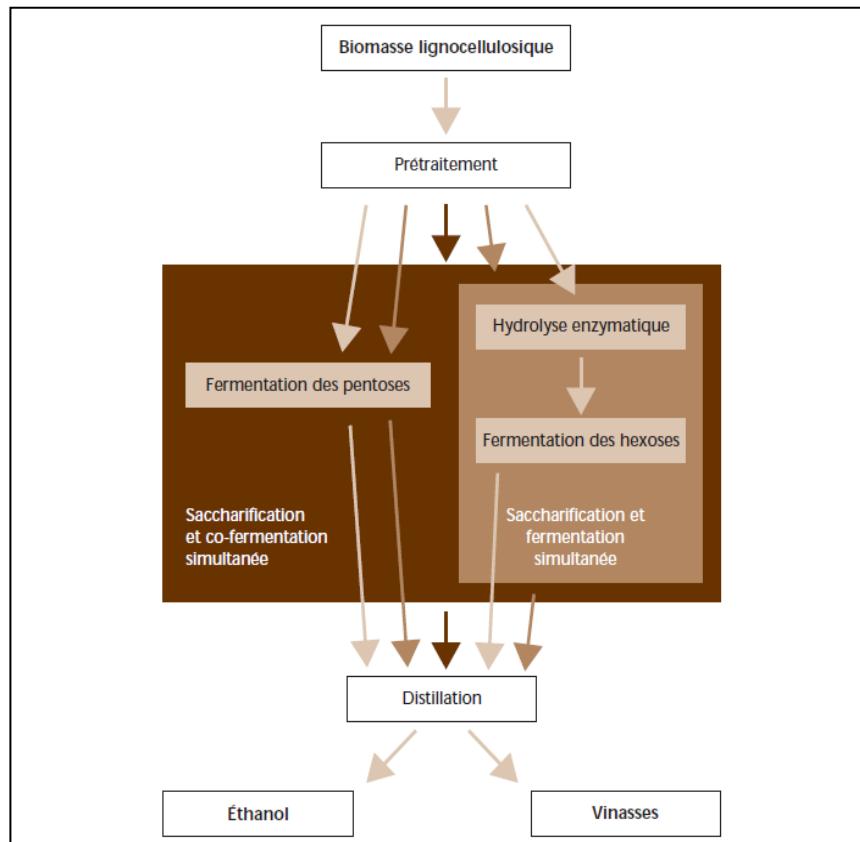


Schéma de production d'éthanol à partir de biomasse lignocellulosique