

Réacteurs enzymatiques

1. Définitions :

Réacteur :

Installation industrielle où s'effectue une réaction chimique en présence d'un catalyseur.

Bioréacteur :

Enceinte où sont mises en œuvre des bioconversions ou des fermentations.

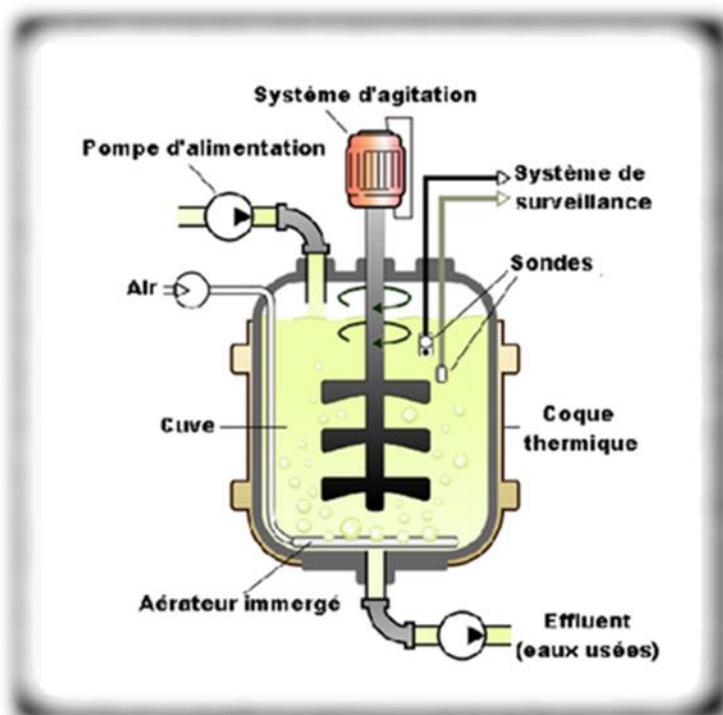
Bioconversion :

Transformation d'une substance en une ou plusieurs autres, par voie enzymatique ou fermentaire (par des micro-organismes).

2. Composition de bioréacteur :

Un bioréacteur comporte :

- ✓ Une cuve ou enceinte en verre (pour les modèles de laboratoire) ou en acier inoxydable ;
- ✓ Un bouchon si nécessaire pour ne pas laisser passer l'air du milieu intérieur et celui du milieu extérieur ;
- ✓ Une seringue avec cathéter pour injecter une solution ;
- ✓ Un système d'agitation comportant une ou plusieurs turbines selon leur taille ;
- ✓ Des capteurs pour la mesure de la température (thermomètre), du pH (pH-mètre), de la concentration en oxygène dissous (sonde oxymétrique), du niveau...
- ✓ Un système de contrôle-commande géré par ordinateur permettant d'enregistrer et piloter tous les paramètres de fonctionnement.



3. Les différents types de réacteurs enzymatiques et leur mode de conduite :

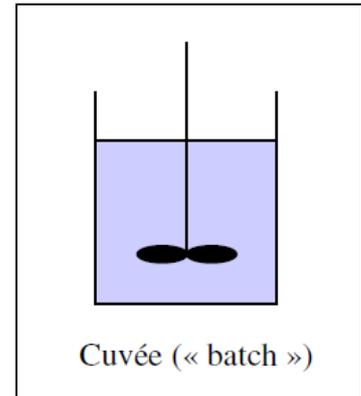
Un réacteur enzymatique implique des dispositifs qui peuvent être très simples ou complexes en faisant intervenir des appareils annexes (aération, stérilisation, ...). Le réacteur est ainsi conçu en fonction du type de processus qui doit s'y dérouler.

La réaction enzymatique peut être produite en discontinu (batch), en alimentation continue (fed batch) ou totalement en continu (alimentation et soutirage).

3.1. Réacteur discontinu :

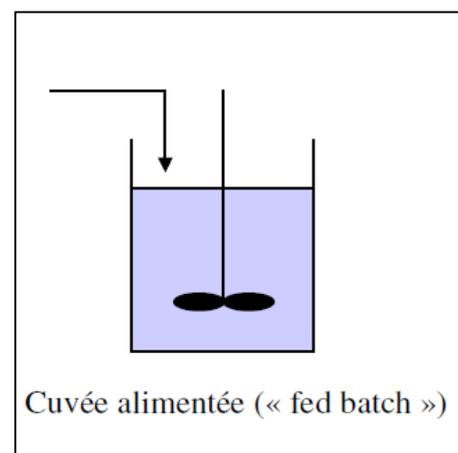
3.1.1. Réacteur en cuve « batch » :

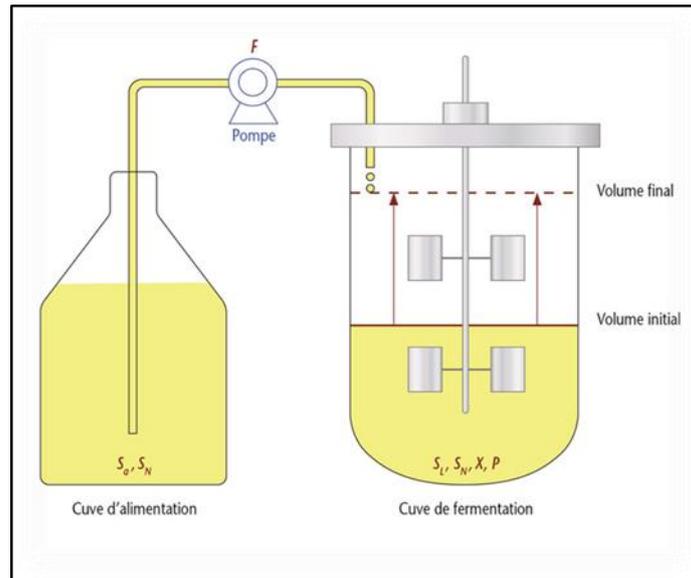
- ~ La réaction est conduite de façon discontinue ;
- ~ Ce mode de réaction est préconisé dans le cas de faibles volumes (échelle de laboratoire) ou lorsque le contrôle de qualité exige un numéro de lot (comme l'industrie pharmaceutique) ;
- ~ Après avoir placé le substrat et l'enzyme (peut être en solution ou immobilisée), l'eau si nécessaire, et après avoir atteint les valeurs de consigne des différents paramètres (température, pH), le système est clos durant le temps de réaction ;
- ~ Une pointe d'addition peut être ajoutée au système en cas de régulation de pH, mais aucun substrat ou enzyme n'est ajouté au système ;
- ~ Le volume est le même et l'agitation peut être conduite de façon homogène tout le temps de la réaction ;
- ~ L'hydrolyse enzymatique entraîne souvent une liquéfaction des produits hydrolysés, rendant plus facile l'agitation ;
- ~ Les réacteurs discontinus ont une productivité plus faible à cause des interruptions.
- ~ La récupération des produits se fait généralement par, par filtration, par centrifugation ou par précipitation.



3.1.2. Réacteur en cuve alimentée « fed batch » :

- ~ La réaction dans ce cas est conduite différemment. Elle commence avec un petit volume de substrat ;
- ~ La quantité d'enzyme présente est alors en plus forte concentration que lors d'un système en batch et la réaction démarre plus vite ;
- ~ Le substrat est introduit en continu dans le réacteur ;
- ~ Le volume total est en augmentation constante ;
- ~ Cette technique, beaucoup utilisée dans le cas de fermentation microbienne, est peu répandue dans le cas d'hydrolyse enzymatique, où l'on préfère en général, les hydrolyses en batch.

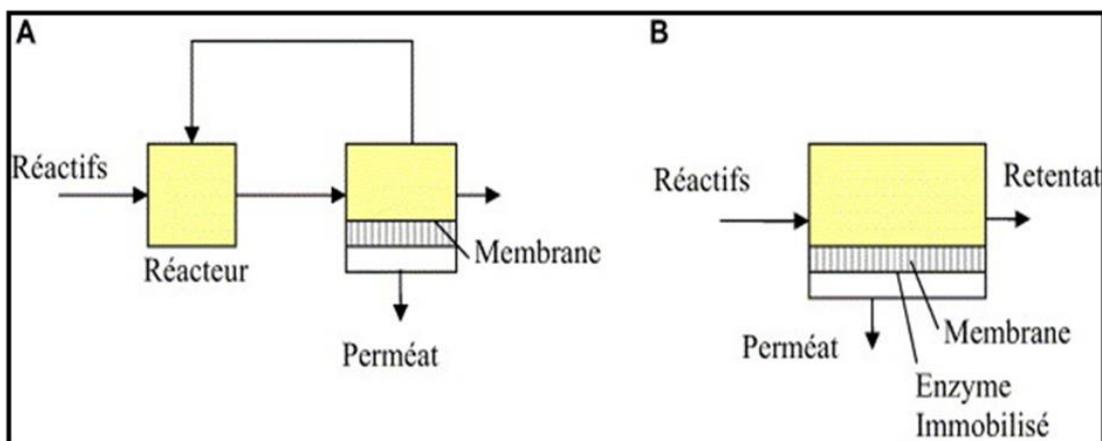
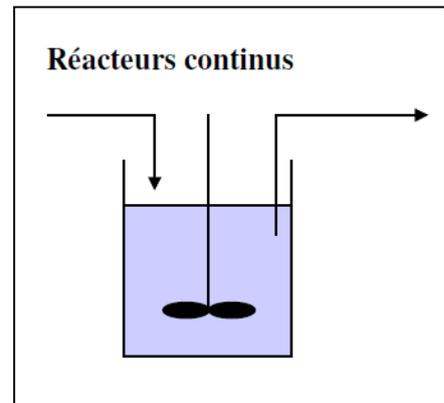




3.2. Réacteur continu :

3.2.1. Réacteur parfaitement agité :

- ~ Dans ce type de réacteur, la cuve est alimentée et soutirée en continue ;
- ~ L'enceinte de la cuve est différente des deux autres puisqu'une évacuation sélective est réalisée de façon à ce que seulement le produit sorte de l'enceinte ;
- ~ Pour ne récupérer que ces produits, le réacteur pourra par exemple être combiné avec un système d'ultrafiltration (UF). Un tel système permettrait ainsi de contrôler la taille des produits générés ;
- ~ Les enzymes sont immobilisées sur un support inerte afin de ne pas passer au travers de la membrane ;
- ~ Un des problèmes majeurs de ce type de procédé est l'encrassement des membranes par les différentes substances colmatantes résultant de la réaction.
- ~ Le débit d'entrée est égal au débit de sortie et les concentrations sont les mêmes dans le réacteur et la sortie.

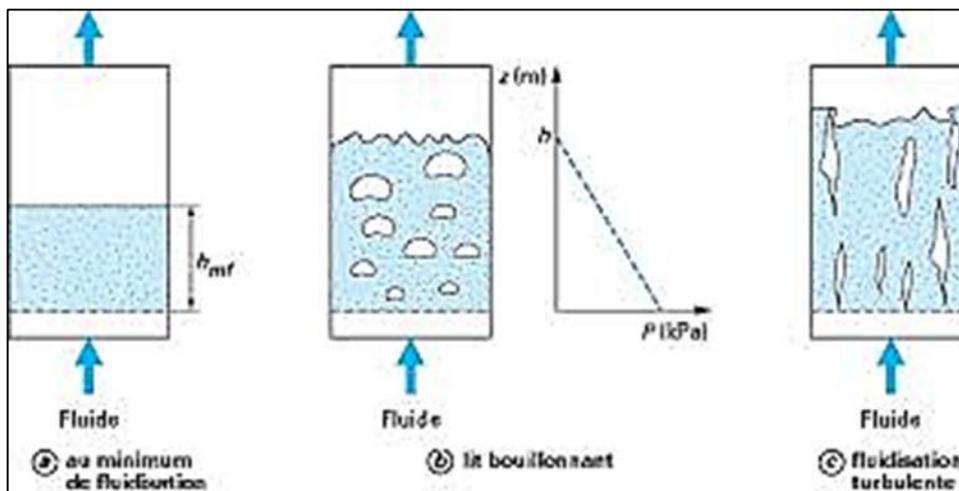
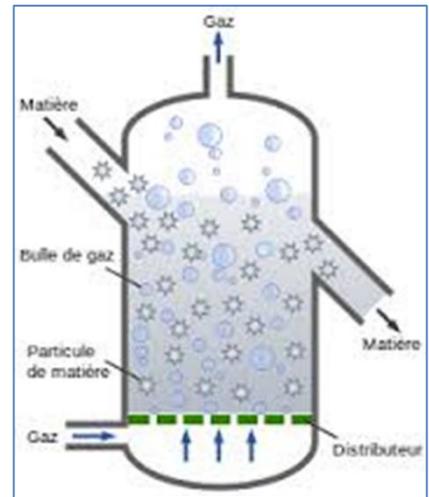


Réacteur à lit fluidisé :

Les particules support avec leurs cellules fixées (ou enzymes) sont en mouvement, fluidisées par un flux d'écoulement.

Il est constitué d'un tube de section circulaire rempli de particules solides actives, mais placé verticalement et dont seule une extrémité est fermée par une grille ou une plaque perforée.

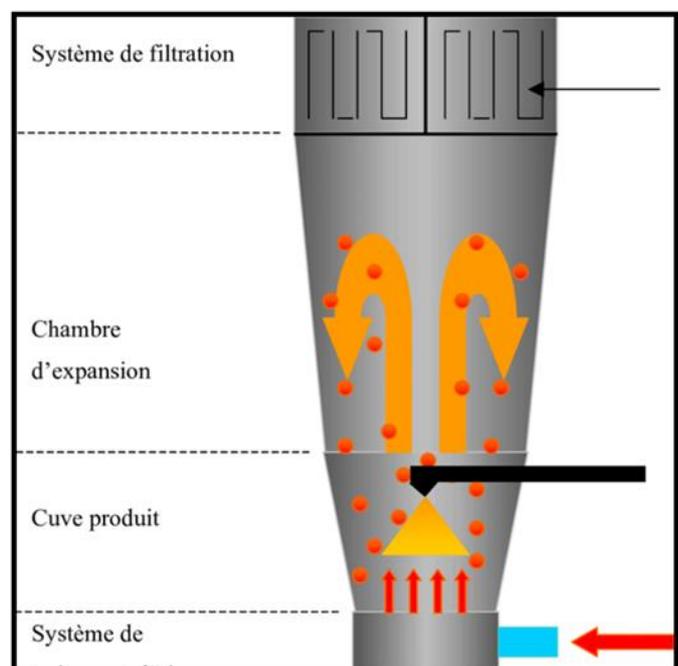
L'activité est assurée par des bactéries ou des enzymes qui sont fixées sur un support mobile, particules granulaires fines et poreuses comme le sable ou le charbon actif.



La phase liquide traverse le réacteur de bas en haut et comme les particules solides ne sont pas confinées, dès que la vitesse superficielle du liquide dépasse la valeur minimale de fluidisation, le lit s'expande et les particules solides se déplacent librement à l'intérieur de la suspension liquide-solide.

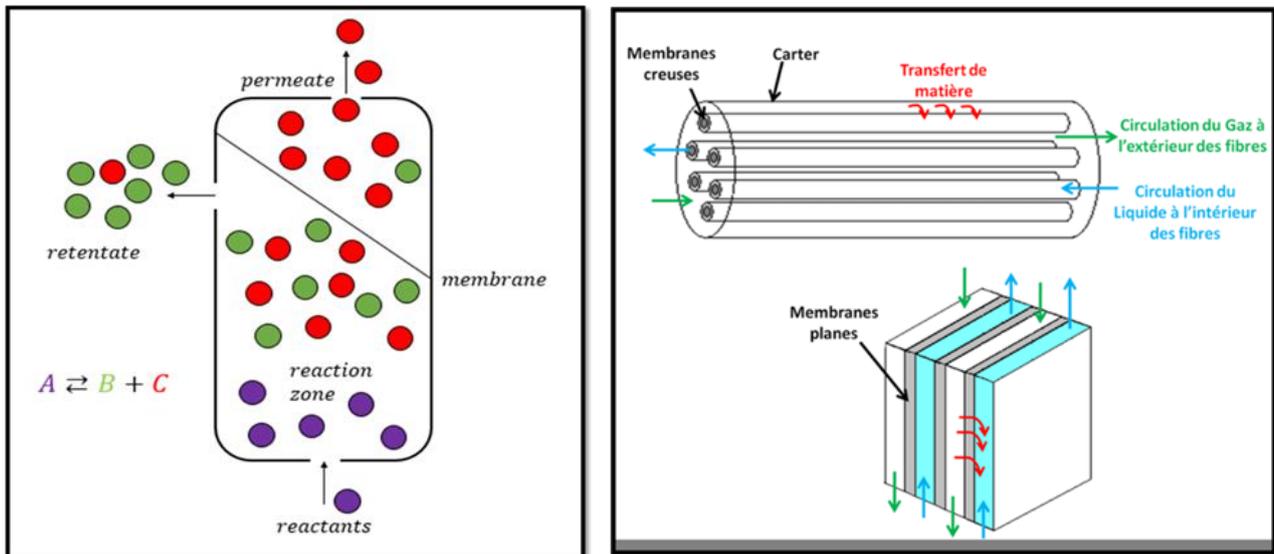
On dit alors que le lit est fluidisé ; les particules solides sont animées d'un mouvement du flux ascendant rapide et régulier de l'effluent qui assure leur mélange.

Ce système minimise les phénomènes de colmatage des colonnes et d'emprisonnement des gaz produits. Il assure un meilleur transfert de matière et de chaleur.

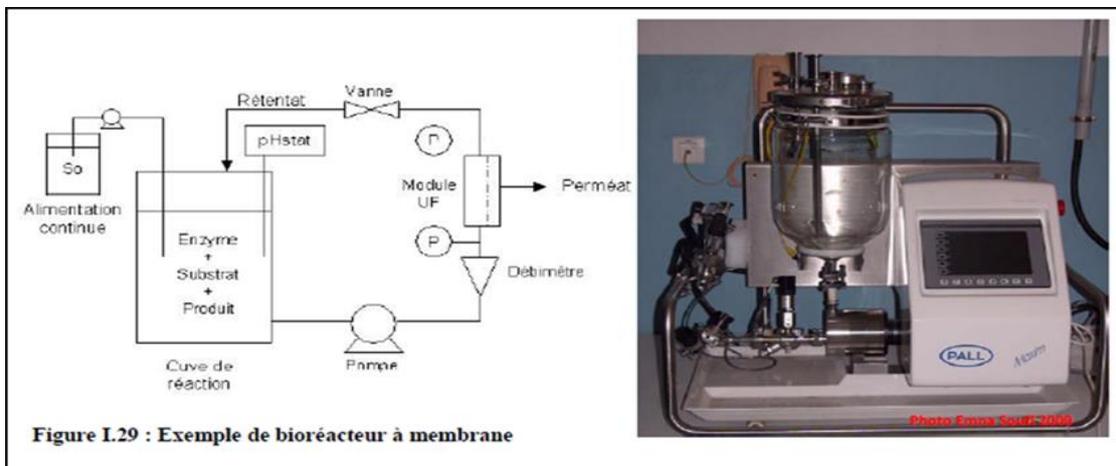


3.2.2. Réacteur à membrane :

Les bioréacteurs à membrane sont impliqués à la transformation de divers composés alimentaires en vue de développer des procédés continus à haute productivité.



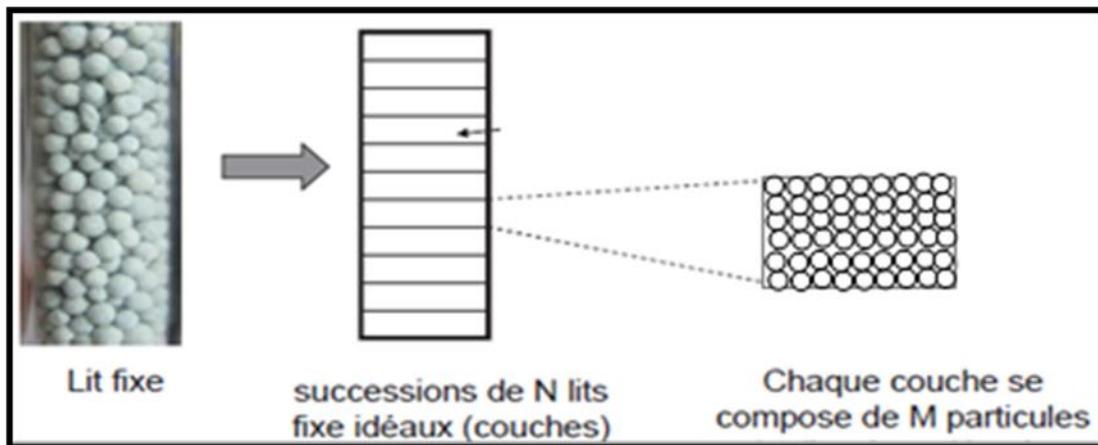
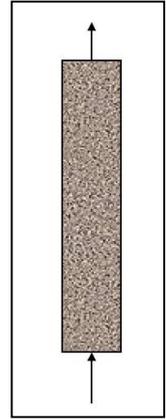
Leur application concerne aussi bien les bioconversions des macromolécules (protéines, polysaccharides) que des molécules de faible masse moléculaire (acides aminés, oligosaccharides).



Différentes techniques d'immobilisation peuvent être utilisées, comme l'attachement à une surface par adsorption ou par liaison covalente, l'encapsulation ou encore l'inclusion dans une matrice. En plus de la variété de formes des membranes et types de membranes (tel que ceux à fibre creuse).

3.2.3. Réacteur à lit fixe « packed bed » :

- ~ Les enzymes sont immobilisées sur des supports solides qui sont des particules ou billes.
- ~ L'enzyme immobilisée, au début du réacteur, est en présence de concentrations élevées en substrat et fonctionne donc à vitesse élevée ;
- ~ Vers la fin du réacteur, la concentration en substrat diminue et c'est seulement dans cette région que l'enzyme travaille à vitesse plus faible ;
- ~ Il y a donc une meilleure utilisation potentielle de l'enzyme ;
- ~ Les limitations de ce type de réacteurs sont :
 - La nature de substrat (substrats gazeux ou faiblement solubles) et les phénomènes d'inhibition induits par le substrat.
 - Une forte perte de charge
 - Risque de colmatage du lit ;
 - Limitations diffusionnelles importantes ce qui réduit les performances du réacteur.



4. Les différents modèles de réacteurs :

- ~ Les réacteurs peuvent être plus ou moins élaborés dans leur conception et disposer de plus ou moins de matériel annexe ;
- ~ La plupart des réacteurs sont cylindriques ou parallélépipédiques mais ils peuvent aussi être cylindroconiques pour permettre de travailler sur des petits volumes en conférant une meilleure séparation ;
- ~ La température est régulée soit par le biais d'une double enveloppe à circulation continu, soit par l'ajout d'un thermoplongeur directement dans le système ;
- ~ Les réacteurs disposent généralement de plusieurs entrées pour permettre d'ajouter des accessoires ou pour pouvoir intervenir sur le milieu réactionnel. Ces entrées permettent l'introduction des capteurs de mesure physique dans le système (sonde de température, électrode de pH, sonde de pression, ...), des sondes de distributions (liquide, gaz, ...), etc ;
- ~ Les réacteurs enzymatiques sont utilisés à l'échelle de laboratoire (0,1-15 litres) et à l'échelle industrielle (plus de 1000m³) ou employés pour les tests en vue de production industrielle « réacteurs pilotes » (20-1000m³) ;

- ~ Les réacteurs peuvent être combinés à un système de contrôle-commande géré par ordinateur permettant d'enregistrer et piloter tous les paramètres de fonctionnement.

