

Chapitre III : Design et différents type de bioréacteurs

1/ Généralités

1.1 Principes de choix et de dimensionnement

■ Le **choix** du type de bioréacteur à utiliser dépend du nombre de phases à mettre en présence pour effectuer la bioréaction : une seule phase liquide ou une phase gaz dispersée dans une phase liquide (cas de cultures aérobies) ou encore une phase solide dispersée dans une phase liquide (cas, par exemple, d'enzymes immobilisées).

Il convient de remarquer que les micro-organismes ayant une taille inférieure à 20 μm et une masse volumique très proche de celle des milieux de culture, on assimile les suspensions de micro-organismes dans les milieux de culture à une phase liquide pseudo-homogène. Bien sûr cette hypothèse n'est plus valable si les micro-organismes tendent à s'agglomérer pour former des flocons (levures) ou des pelotes (champignons filamenteux).

■ Le choix du type de bioréacteur effectué, son **dimensionnement** et son **mode de conduite** reposent sur la connaissance des vitesses des réactions biochimiques ou biologiques et de leur couplage avec les vitesses de transfert de substrats, lorsque ceux-ci se trouvent dans une autre phase.

Une présentation générale et rapide des principaux bioréacteurs est nécessaire.

2. Principaux types de bioréacteurs

Comparativement aux réactions chimiques, les bioréactions s'effectuent toujours dans un solvant, l'eau, et les concentrations en substrats et produits, ainsi que les vitesses de réaction, sont faibles. Pour obtenir des productions convenables, il est donc nécessaire de recourir à des volumes réactionnels et des temps de séjour importants ; par exemple, en brasserie, la fermentation principale s'effectue dans des cuves pouvant atteindre 600 m^3 et dure de 5 à 10 jours.

Les principaux appareils utilisés pour effectuer des bioréactions sont les cuves mécaniquement agitées, aérées ou non, les colonnes à bulles et les airlifts et, enfin, les réacteurs à lit fixe ou fluidisé.

2.1. Cuve mécaniquement agitée

La cuve mécaniquement agitée est le réacteur choisi lorsque tous les acteurs de la bioréaction (substrats, enzymes, micro-organismes) sont dans une phase liquide unique. Sous réserve d'une agitation suffisante pour que la phase liquide soit parfaitement mélangée, le seul phénomène à prendre en compte dans le dimensionnement et la conduite du bioréacteur est la vitesse de la bioréaction (**Figure.1**).

La cuve agitée est employée pour effectuer des réactions enzymatiques avec des enzymes en solution ou encore des fermentations anaérobies. Dans ce dernier cas, le gaz carbonique produit se résorbe du milieu de culture sous forme de bulles, mais sa concentration en phase liquide, n'intervient pas, en général, dans l'expression de la vitesse de croissance du micro-organisme.

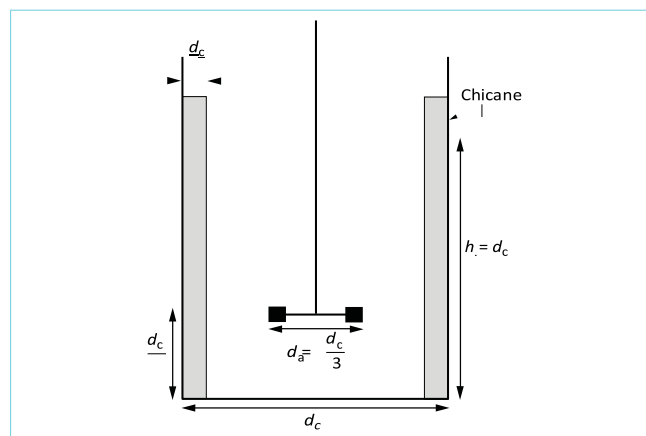


Figure 1 : Cuve mécaniquement agitée standard

2.2 Cuve mécaniquement agitée aérée

La cuve mécaniquement agitée aérée est utilisée pour la production de micro-organismes en aérobiose. L'oxygène qui est très peu soluble dans les milieux de fermentation (8 mg/L à 25 °C dans l'eau) est alors le substrat limitant.

La vitesse globale de formation des micro-organismes est la résultante du couplage entre leur vitesse propre de croissance et la vitesse de transfert de l'oxygène de la phase gaz dispersée vers le milieu de fermentation. La puissance mécanique consommée sert à la fois à mélanger la phase liquide et à générer une aire interfaciale importante entre les bulles de gaz et le milieu de fermentation.

2.3. Colonne à bulles et réacteur airlift

■ La **colonne à bulles** est un réacteur également utilisé pour la production de micro-organismes en aérobiose. Les bulles d'air injectées à la base de la colonne apportent l'oxygène aux micro-organismes et mélangent la phase liquide au cours de leur mouvement ascendant. Comme pour la cuve mécaniquement agitée aérée (§ 1.2.2), la vitesse globale de formation des micro-organismes est la résultante du couplage entre leur vitesse propre de croissance et la vitesse de transfert de l'oxygène de la phase gaz dispersée vers le milieu de fermentation.

Comparativement à la cuve mécaniquement agitée aérée, la colonne à bulles ne comporte pas de pièces en mouvement et ne consomme pas de puissance mécanique d'agitation. Sa fiabilité est plus grande et son coût en investissement et en fonctionnement plus faible. Par contre, ses performances de transfert d'oxygène sont nettement moins bonnes, car aucun effet mécanique ne vient s'opposer à la coalescence des bulles de gaz, phénomène qui diminue l'aire interfaciale entre les bulles de gaz et le milieu de fermentation (**Figure.2**).

La colonne à bulles est aussi employée lors des fermentations anaérobies, l'agitation pneumatique étant alors réalisée par les bulles de gaz carbonique dégagées *in situ* pendant la fermentation ; on peut citer, à titre d'exemple, les

cuves de vinification.

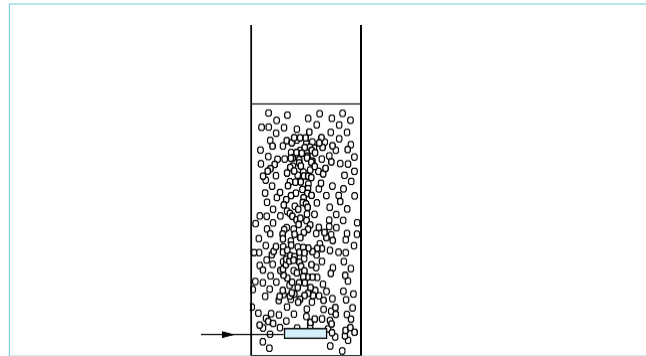


Figure 2 : Colonne à bulles

■ Le **réacteur airlift** :

Un réacteur airlift est une colonne à bulle comportant soit un tube concentrique interne placé au-dessus du distributeur de gaz (figure 3 *a*), soit un tube de recirculation externe (figure 3 *b*). L'addition de ces dispositifs modifie considérablement la circulation de la phase liquide.

Le **mouvement** de la phase liquide est ici induit par la différence entre les masses volumiques apparentes de la dispersion gaz-liquide située dans la partie centrale du réacteur et de la phase liquide située dans l'autre partie.

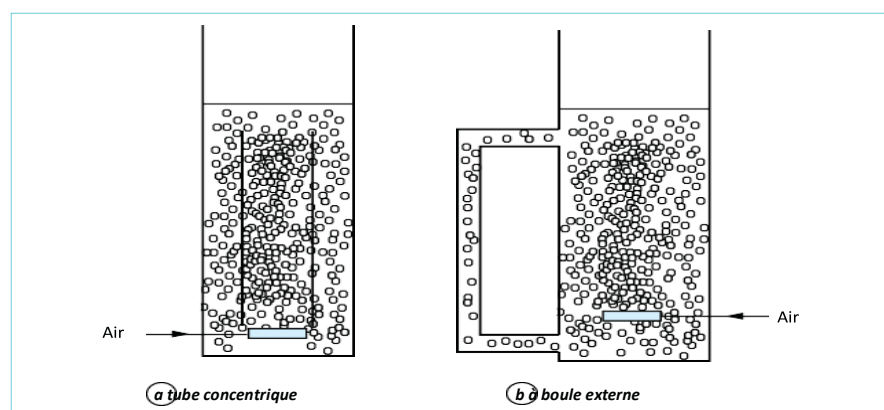


Figure 3 : Réacteur airlift

2.4. Réacteurs à couche fixe et couche fluidisée

L'usage d'enzymes en solution entraîne leur perte après réaction, puisqu'il est impossible de les extraire du milieu réactionnel. L'immobilisation d'enzymes à la surface ou à l'intérieur d'un support solide est une technique permettant de les séparer facilement du milieu réactionnel liquide et donc de les réutiliser.

Les réacteurs à enzymes immobilisées sont exclusivement des colonnes percolées par le liquide, à couche fixe ou couche fluidisée de particules solides. En effet, le recours à une cuve mécaniquement agitée est à proscrire, car on peut difficilement dépasser un taux de solide de 10 % dans un tel appareil, alors que ce taux est de l'ordre de 60 % dans une colonne garnie de particules solides sphériques. D'autre part, dans une cuve agitée, les chocs de particules solides sur le mobile d'agitation peuvent entraîner leur destruction.

La vitesse globale de la réaction enzymatique est ici la résultante du couplage entre la vitesse de transfert du substrat du cœur de la phase liquide à l'interface des particules solides, la vitesse de diffusion du substrat à l'intérieur des particules et la vitesse intrinsèque de la bioréaction. Ces trois vitesses sont heureusement rarement toutes les trois du même ordre de grandeur.

Le *choix entre couche fixe ou couche fluidisée* dépend du caractère colmatant des solutions à traiter et de la taille des particules solides. La fluidisation permet de s'affranchir des risques de colmatage, mais les performances de transfert de matière liquide-solide d'une couche fluidisée sont plus limitées que celles d'une couche fixe.