

Procédés post-fermentation : Extraction et purification des produits

1. Critères de choix du procédé de récupération et de purification

Dans un environnement de culture en fermenteur, le produit désiré se trouve en compagnie d'impuretés telles que des cellules, des débris cellulaires, des résidus de nutriments, des métabolites, etc., qui doivent être éliminés à la fin de la fermentation. De plus, les produits de la fermentation, qu'il s'agisse de biomasse ou de biomolécules, sont souvent instables et nécessitent des conditions physicochimiques spécifiques pour leur conservation, telles que la température et le pH. Une technique efficace permettra de récupérer le produit avec un minimum de pertes, tant en quantité qu'en activité - notamment s'il s'agit d'un produit biologiquement actif comme une biomasse viable, une enzyme ou un antibiotique - tout en éliminant les impuretés pouvant compromettre sa conformité aux normes de commercialisation. Il est essentiel que le processus soit aussi bref et efficace que possible, tout en restant économiquement viable.

Le choix d'un procédé de récupération et de purification approprié repose sur divers critères clés :

- La localisation du produit, qu'il soit intracellulaire ou extracellulaire.
- Les propriétés physicochimiques spécifiques du produit à récupérer.
- L'objectif ou l'utilisation prévue du produit une fois purifié.
- La norme minimale de pureté requise pour le produit final.
- La toxicité potentielle du produit ou d'autres composants de la culture.
- La nature des impuretés présentes dans la culture à traiter.
- La valeur économique associée au produit à récupérer.

En tenant compte de ces critères, il est possible de sélectionner le procédé le plus approprié qui permettra une récupération efficace du produit tout en assurant sa pureté, sa stabilité, et sa conformité aux normes de qualité exigées pour sa commercialisation.

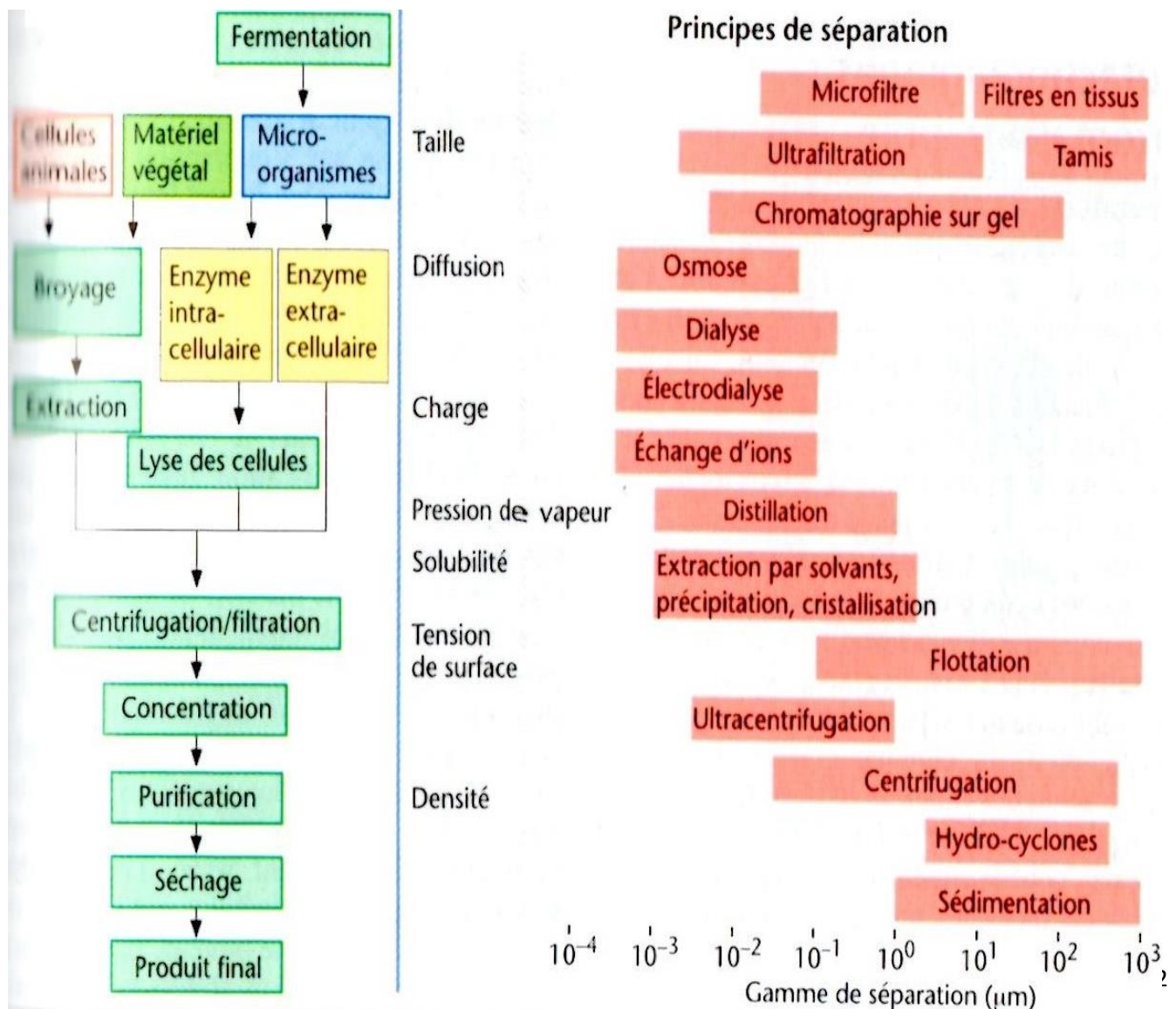
Caractéristiques des moûts de fermentation

- Concentration faible
- Biodégradabilité (enzymes, microorganismes)

Substances	Concentration (g/l)
Glucose	50
Ethanol	70-120
Acides organiques (ac. acétique, citrique,...)	40-150
α -amylase	20
Antibiotique	4-30
Riboflavine	10-15
Vitamine B12	0.02
Glutamate de sodium	35
Acétone-alcool butyrique	18-20
Lipide	10-30
SCP	30-50

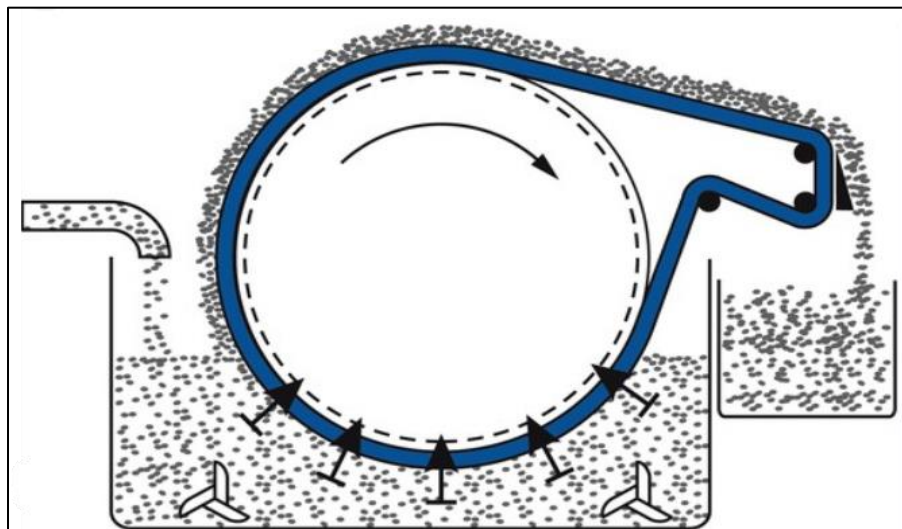
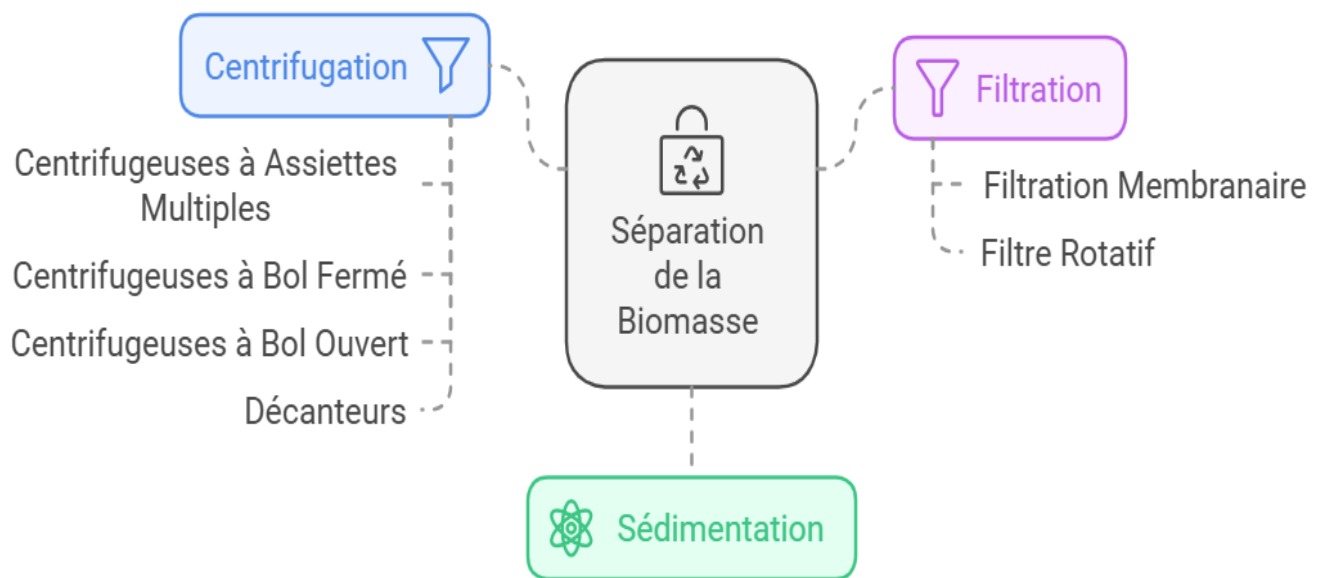
Tabl. 1.1. Concentration typiques de produits de fermentation dans les bouillons de fermentation

5

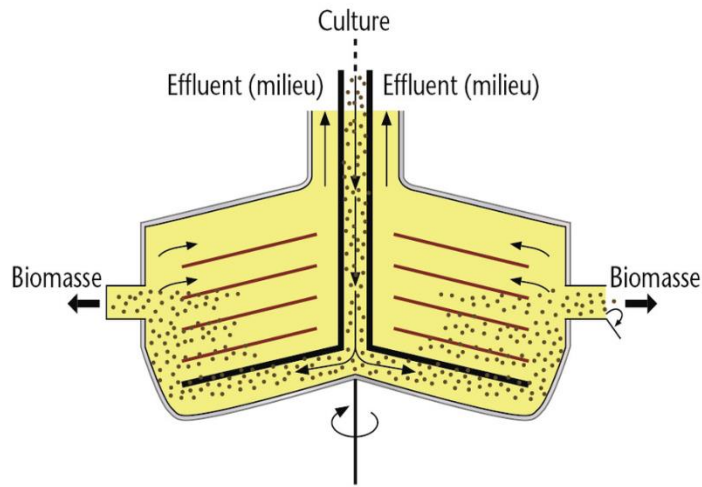


2. Techniques de séparation de la biomasse du milieu de fermentation

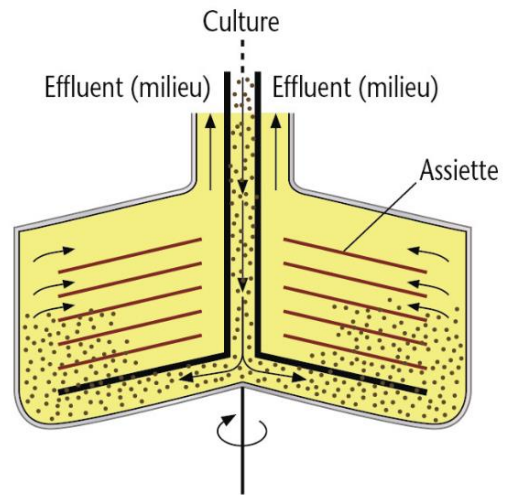
Au début des processus de récupération et de purification, une étape cruciale consiste à séparer les phases solide (cellules et particules) et liquide de la culture. Cette séparation initiale est essentielle pour simplifier la récupération du produit, qu'il soit extracellulaire ou intracellulaire, en éliminant un maximum d'impuretés présentes dans la culture. Les techniques couramment utilisées pour cette séparation incluent la sédimentation, la filtration et la centrifugation. En se débarrassant efficacement des cellules ou du milieu indésirables, ces méthodes préparent le terrain pour des étapes ultérieures de purification visant à obtenir des produits finaux de haute qualité.



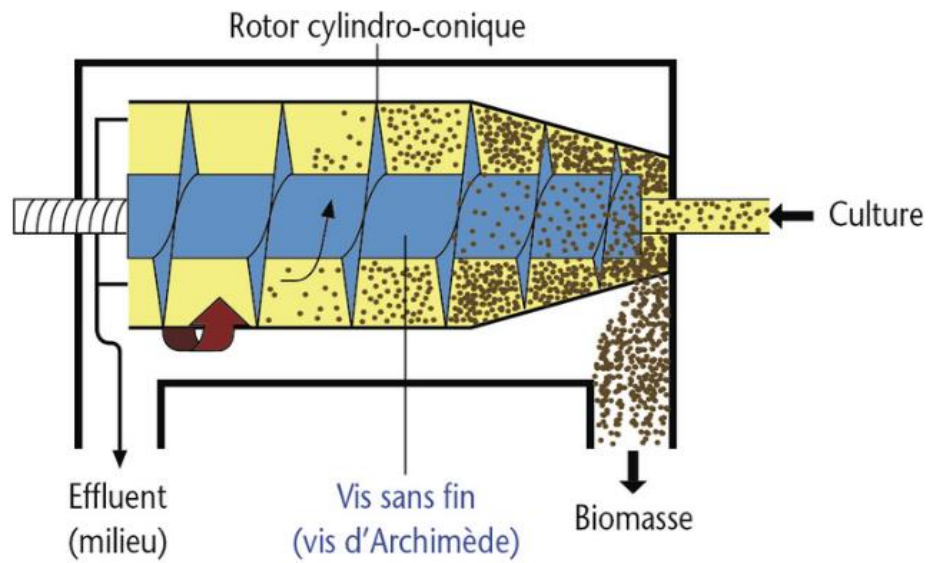
Filtre rotatif



Centrifugeuse industrielle à assiettes multiples et bol ouvert



Centrifugeuse industrielle à assiettes multiples et bol fermé

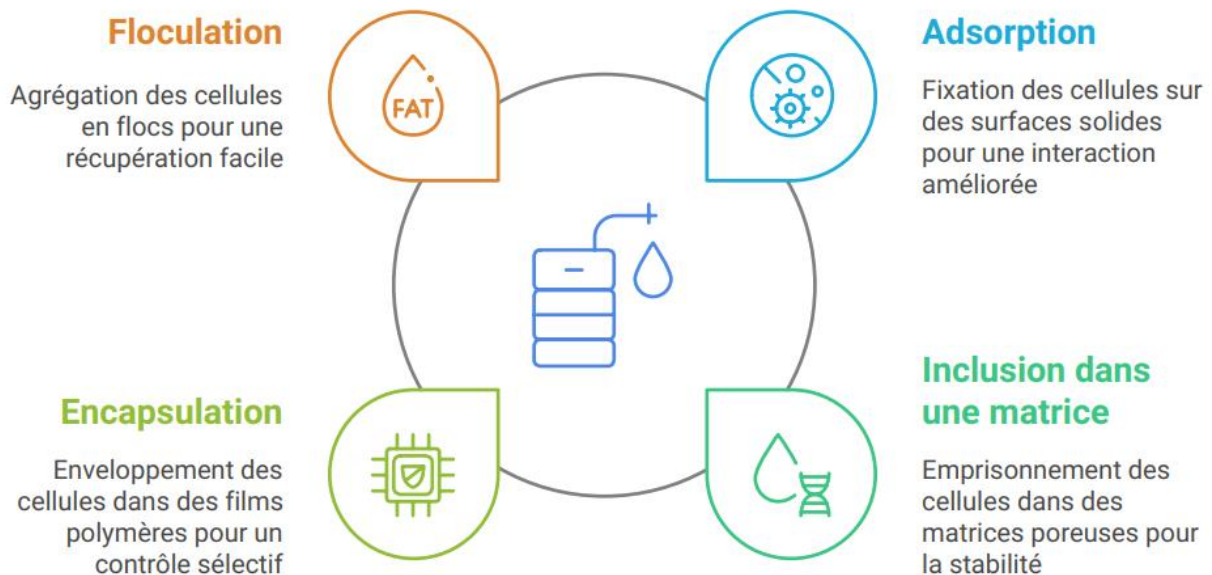


Centrifugeuse industrielle de type décanteur

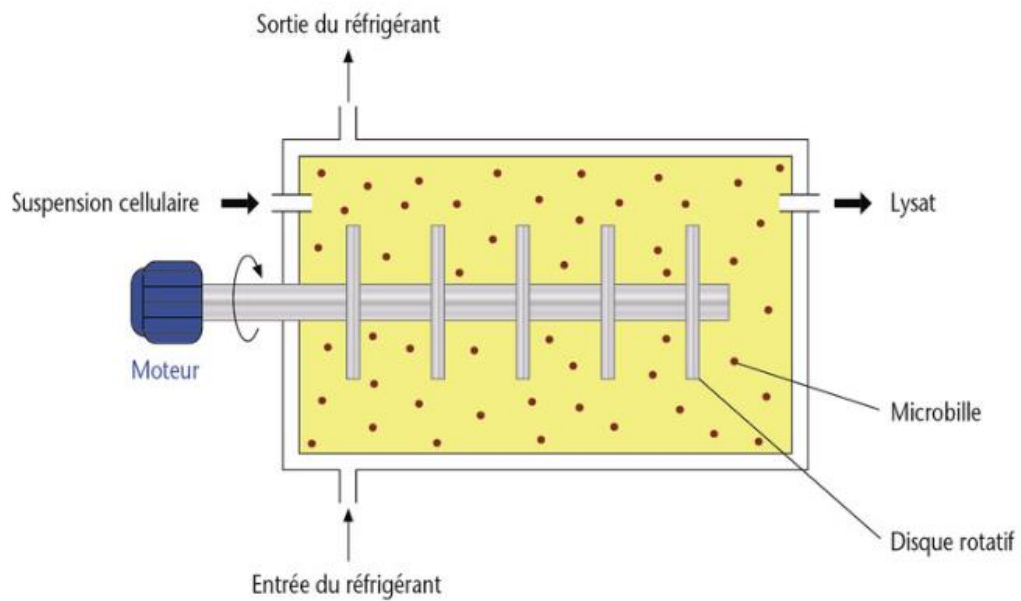
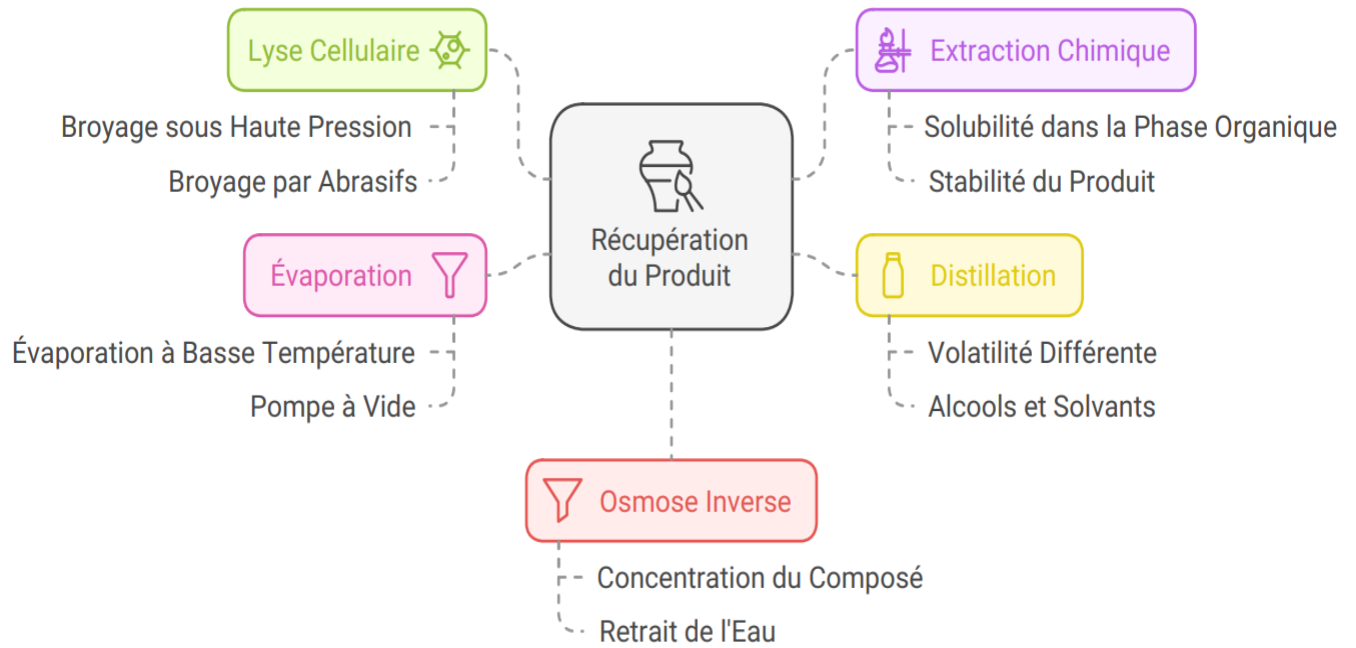
2. Techniques d'immobilisation des cellules

La technologie des cellules immobilisées implique la capture des cellules dans une matrice ou leur fixation sur un support pour permettre une réutilisation aisée. Cette approche améliore la vitesse et la productivité des fermentations par rapport à la culture de cellules libres, en permettant l'inoculation du réacteur avec une population cellulaire complète. De plus, la récupération du produit est simplifiée car le milieu est moins encombré de cellules.

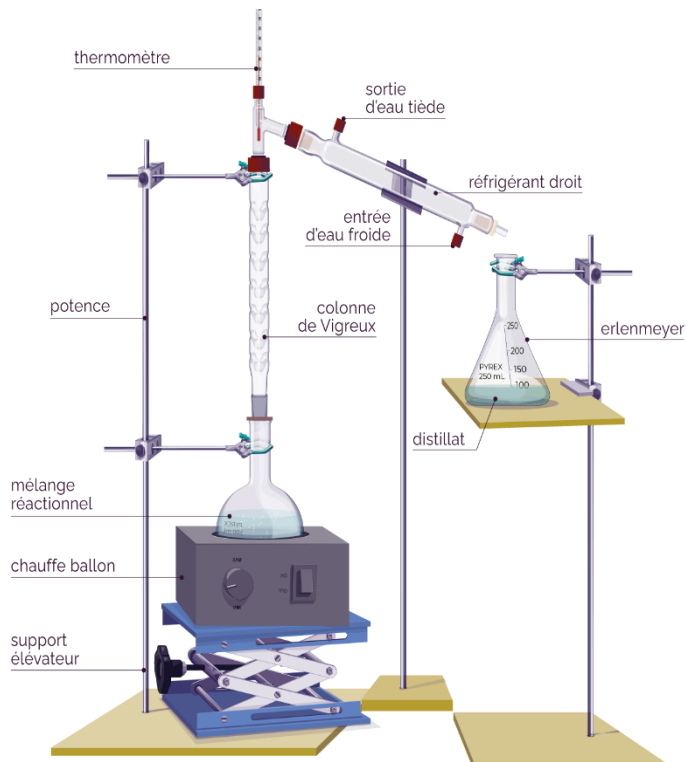
Il existe quatre principaux types de techniques pour immobiliser les cellules dans un bioréacteur : l'adsorption, l'inclusion dans une matrice, l'encapsulation et la floculation. Chacune de ces méthodes offre des avantages spécifiques pour maintenir les cellules en place, améliorer l'efficacité de la fermentation et faciliter la récupération du produit final.



3. Techniques de récupération du produit



Broyeur à billes abrasives



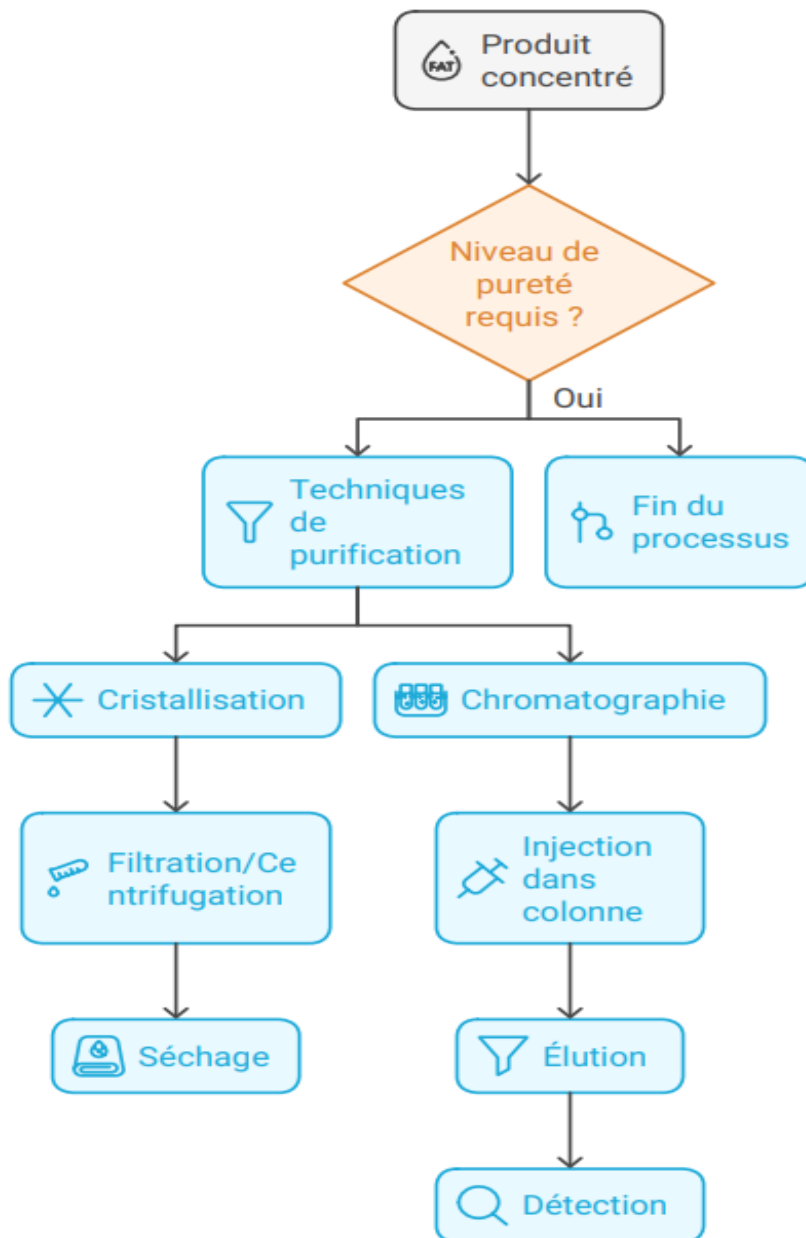
Distillation



Distillateur industriel

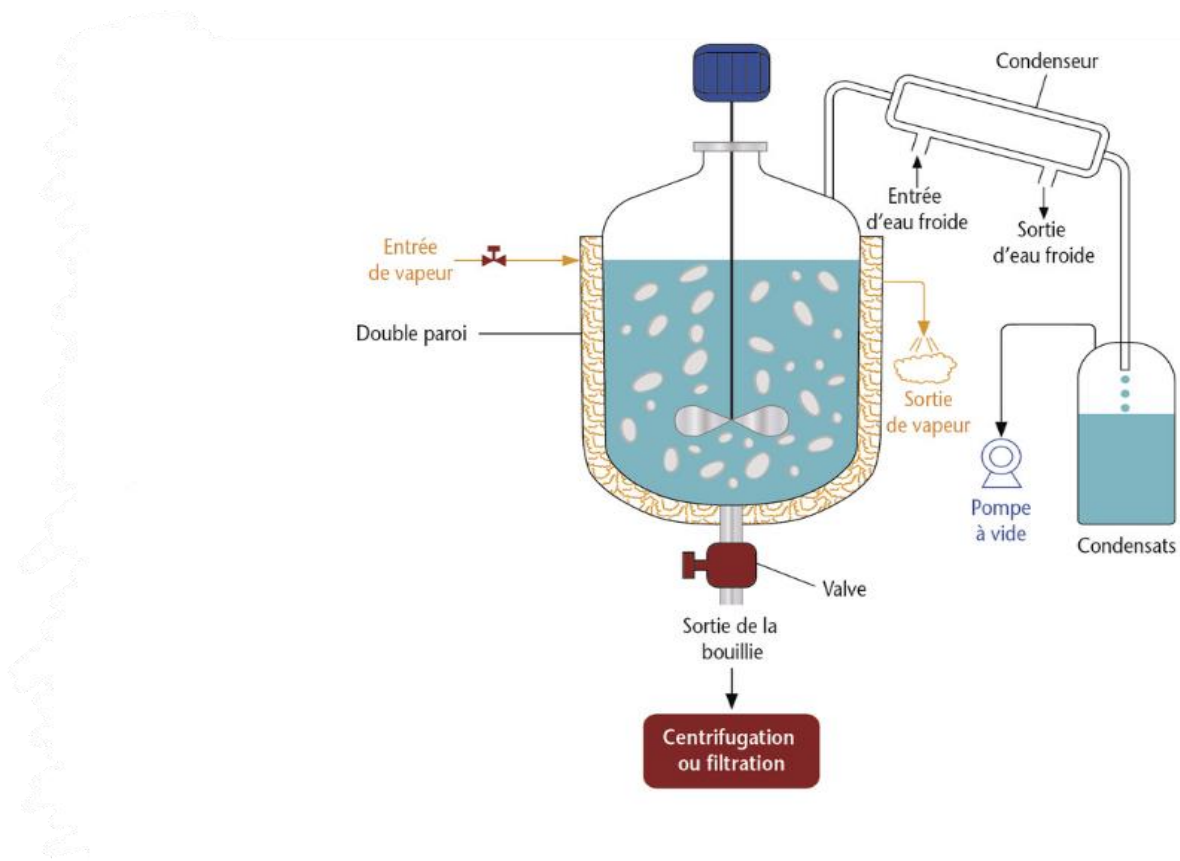
4. Techniques de purification du produit

Après la récupération du produit sous une forme concentrée, des étapes supplémentaires de purification sont souvent nécessaires pour atteindre le niveau de pureté requis. C'est à ce stade que des impuretés persistantes peuvent nécessiter des techniques plus avancées. Deux méthodes couramment utilisées pour cette purification sont la cristallisation et la chromatographie. La cristallisation permet d'obtenir le produit sous forme solide cristalline, tandis que la chromatographie est utilisée pour séparer des composés aux propriétés physico-chimiques similaires à partir d'un mélange homogène en phase liquide ou gazeuse. Ces techniques sont essentielles pour garantir la qualité et la pureté du produit final avant sa commercialisation.



Plusieurs types de chromatographie en phase liquide peuvent être utilisés pour purifier un produit de fermentation :

- La chromatographie par adsorption : la phase solide est constituée d'une résine absorbante, la phase mobile est généralement un solvant.
- La chromatographie par échange d'ions.
- La chromatographie d'affinité.
- La chromatographie sur gel.
- La chromatographie en phase inverse.
- La chromatographie liquide à haute performance (HPLC).



Cristalliseur-évaporateur sous vide à double paroi



Colonnes de chromatographie industrielles

5. Etapes finales du procédé

5.1. Finition du produit

De nombreux produits issus de la fermentation sont commercialisés sous forme de poudre ou de cristaux déshydratés pour des raisons telles que la réduction des coûts de transport, la facilité d'emballage et une meilleure stabilité du produit. Pour sécher ces produits récupérés sous forme liquide ou cristalline, plusieurs technologies peuvent être utilisées, notamment la lyophilisation, l'évaporation et la vaporisation.

En outre, la formulation du produit, que ce soit par mélange ou encapsulation, revêt une importance significative pour de nombreux produits de fermentation. Cette étape est essentielle pour stabiliser les biomolécules actives, masquer leur goût, les présenter sous une forme adaptée à leur mode d'administration, faciliter leur absorption, et répondre à d'autres exigences spécifiques liées à leur utilisation finale. La stabilisation des produits est réalisée souvent par ajout de conservateur ou modification de pH ; l'emballage : par conditionnement sous atmosphère contrôlée et étiquetage. Le contrôle de qualité, le stockage et la distribution sont aussi des étapes de finition.

5.2. Traitement des effluents

Durant les processus de fermentation, des volumes considérables d'eaux usées résiduelles riches en matières organiques biodégradables telles que protéines, glucides et lipides sont générés. Ces effluents peuvent être valorisés dans certains cas pour produire de la moulée animale ou des fertilisants, contribuant ainsi à une approche circulaire et durable. Cependant, lorsque cette revalorisation n'est pas possible, il devient impératif de traiter ces effluents pour réduire leur impact environnemental.

Le traitement de ces effluents peut impliquer des méthodes de biodégradation telles que la digestion anaérobie, la biofiltration ou le compostage. Ces techniques visent à décomposer les matières organiques présentes dans les eaux usées, réduisant ainsi leur potentiel de pollution. Il est crucial d'intégrer les coûts associés à ces processus de traitement des matières résiduelles dans l'évaluation globale du procédé de fermentation. Cette approche permet de prendre en compte non seulement la production du produit principal, mais aussi la gestion responsable des sous-produits et des effluents pour assurer une démarche durable et respectueuse de l'environnement tout au long du processus de fermentation.