

Avant-propos

Mohamed GHOUL

LRGP, CNRS, Université de Lorraine, Nancy, France

L'utilisation des bioréacteurs pour la production d'ingrédients alimentaires est en plein essor ces dernières années. Ces procédés permettent de créer un environnement contrôlé et adapté aux besoins spécifiques de chaque microorganisme, tout en minimisant l'impact environnemental de ces procédés. Cependant, la mise en œuvre des bioréacteurs à l'échelle industrielle reste souvent empirique, basée sur l'expérience et le savoir-faire de chaque entreprise.

L'application d'une approche rationnelle pour une mise en œuvre optimale des bioréacteurs est possible, mais elle nécessite la maîtrise de nombreux concepts scientifiques liés aux bilans de matière et de chaleur, à la cinétique microbienne et à leur mise en œuvre. En effet, selon la cinétique du microorganisme utilisé, la composition du milieu réactionnel et la nature des ingrédients recherchés, plusieurs configurations et modes de conduite de bioréacteurs sont envisageables.

Cet ouvrage a pour vocation de fournir une présentation exhaustive et précise de l'ensemble de ces concepts et de les rendre accessibles aux étudiants, aux chercheurs et aux professionnels souhaitant exploiter le potentiel des bioréacteurs pour produire des ingrédients alimentaires et développer des procédés innovateurs.

La première partie de ce livre développe donc les fondamentaux de l'ingénierie des bioréacteurs, notamment les bilans de matière et de chaleur, la cinétique microbienne, la mise en œuvre des bioréacteurs et les techniques d'agitation et de mélange. Cette connaissance est essentielle pour maîtriser les processus biologiques et physico-chimiques qui ont lieu dans les bioréacteurs. Ces processus peuvent avoir des effets contradictoires et la recherche de compromis est souvent nécessaire pour parvenir à un fonctionnement

optimal de ces procédés. Ainsi, les critères d'optimisation du fonctionnement des bioréacteurs (discontinu, semi-continu ou continu) et du choix de la technologie d'agitation la plus adaptée au système biologique utilisé (bactéries, levures, champignons, microalgues) et à la rhéologie du milieu de culture seront présentés et discutés.

La deuxième partie présente une illustration de l'utilisation des bioréacteurs pour la production de plusieurs ingrédients et métabolites d'intérêt. Ainsi, on découvre comment intégrer d'une façon originale et innovante l'ensemble des connaissances développées dans la première partie de cet ouvrage pour produire : 1) de la biomasse et des bioactifs alimentaires par culture de différentes espèces de microalgues, 2) de l'acide glutamique en exploitant le potentiel des bactéries dans ce domaine, 3) des boissons telles que la bière grâce au pouvoir fermentaire des levures, 4) de l'éthanol à partir des bioressources renouvelables par fermentation en présence de levures.

Cet ouvrage s'adresse aux professionnels, aux chercheurs, mais aussi aux étudiants et constitue donc une référence de base dans le domaine des bioréacteurs appliqués aux bioprocédés alimentaires.

Introduction

Jean-Marc ENGASSER et Mohamed GHOU

LRGP, CNRS, Université de Lorraine, Nancy, France

Les procédés de production de biomasse et de métabolites par différentes espèces de microorganismes sont des techniques clés dans de nombreuses industries, y compris l'agroalimentaire. Les microorganismes tels que les bactéries, les levures, les champignons et les microalgues sont largement utilisés dans ces procédés. Ils agissent comme des « usines cellulaires » en effectuant de nombreuses réactions enzymatiques pour transformer divers substrats en produits souhaités.

Dans la plupart des cas, des souches spécifiques de microorganismes sont sélectionnées pour leurs performances de production. Ces souches sont souvent modifiées génétiquement pour améliorer leur capacité à produire des métabolites spécifiques. En effet, les techniques de génie génétique et d'ingénierie métabolique permettent de créer de nouveaux microorganismes industriels capables de synthétiser des métabolites spécifiques. Ces nouvelles souches peuvent augmenter considérablement les niveaux de productivité. Dans certains cas, des cultures mixtes sont utilisées pour optimiser les activités et les rendements de transformation. Cette approche peut être particulièrement utile lorsque différentes souches ont des rôles complémentaires.

Les procédés mettant en œuvre des microorganismes sont utilisés dans l'industrie agroalimentaire pour diverses applications, notamment la production de protéines, d'aliments, de boissons, de colorants, d'acides et d'autres bioactifs d'intérêt alimentaire.

Les produits issus de ces transformations se répartissent principalement en quatre catégories distinctes :

- des **petites molécules** résultant du métabolisme cellulaire, telles que les acides organiques, les acides aminés, les nucléotides, les alcools, les esters, les colorants, les vitamines ;
- des **macromolécules** telles que les polysaccharides, les peptides et les protéines ;
- des **cellules entières** telles que la levure de boulanger, des microalgues, les ferments lactiques, les probiotiques ;
- des **produits alimentaires fermentés** comme la bière et le yogourt.

En plus de leur utilisation dans la production alimentaire, ces procédés ont également de nombreuses applications environnementales de dépollution des déchets. Les exemples les plus couramment rencontrés dans ce domaine incluent les procédés à boues activées, la dénitrification et la digestion anaérobie pour la production de méthane. Ces procédés peuvent également contribuer à la durabilité environnementale, car ils peuvent utiliser des substrats renouvelables et produire moins de déchets par rapport à certaines méthodes chimiques.

Les bioréacteurs sont des équipements essentiels dans ces procédés, permettant de contrôler précisément les conditions de croissance des microorganismes, telles que la température, le pH, l'agitation et la concentration des nutriments.

En plus de l'opération centrale mettant en œuvre le bioréacteur, les procédés de biotransformation impliquent souvent un certain nombre d'opérations unitaires en amont et en aval pour transformer efficacement les matières premières en produits finaux de haute qualité.

En amont, les matières premières peuvent nécessiter un prétraitement. Cela peut inclure le broyage, la découpe, le lavage ou d'autres étapes visant à préparer les matières premières. Pour éviter la contamination par des microorganismes indésirables, les milieux de culture utilisés dans le bioréacteur doivent être stérilisés. Cela peut se faire par autoclavage, filtration stérilisante ou d'autres méthodes de stérilisation. En aval, après la bioconversion, les produits finaux sont souvent mélangés avec le milieu de culture et les cellules microbiennes. La première étape consiste généralement en des opérations de séparation pour isoler les produits souhaités. Cela peut inclure la centrifugation, la filtration, la décantation ou d'autres méthodes de séparation en fonction des caractéristiques des produits et du milieu. Les produits isolés peuvent contenir des impuretés telles que d'autres composés indésirables, des cellules résiduelles ou des contaminants. La purification vise à éliminer ces impuretés pour obtenir un produit pur et de haute qualité. Les techniques de purification courantes comprennent la chromatographie, la précipitation, l'échange d'ions et d'autres méthodes spécifiques au produit. Une fois que les produits sont purifiés, ils peuvent nécessiter une formulation pour atteindre la composition finale souhaitée. Cela peut inclure des étapes telles que l'ajout de stabilisants, de

conservateurs, de colorants ou d'autres additifs pour répondre aux spécifications du produit final.

Ces opérations en amont et en aval sont essentielles pour garantir la qualité, la pureté et la conformité des produits finaux aux normes de l'industrie agroalimentaire. La séquence exacte d'opérations peut varier en fonction du produit, du processus et des besoins spécifiques de l'application, mais elles sont toutes cruciales pour la réussite globale du processus de biotransformation.

Pour une mise en œuvre optimale des procédés mettant en jeu des bioréacteurs avec différentes espèces de microorganismes pour produire des métabolites d'intérêt, il est donc nécessaire de maîtriser non seulement l'étape de biotransformation, mais aussi l'amont et l'aval de ce procédé. Ceci implique la mise en place d'une approche pluridisciplinaire avec une maîtrise de plusieurs concepts des sciences de l'ingénieur et de la vie. L'ensemble de ces outils de l'ingénierie des bioréacteurs sera présenté et illustré par des exemples pratiques rencontrés dans le domaine alimentaire.