



Photobioréacteurs pour la culture de microalgues : Caractéristiques et paramètres de culture

DAOU Djamel

Attaché de recherche

Equipe : biomasse et technologie de l'hydrogène - URAER

E-mail : djdaoud@uraer.dz

Introduction

Aujourd'hui, les microorganismes photosynthétiques s'affirment comme l'une des alternatives convenables pour remplacer les énergies fossiles et suscitent un intérêt grandissant, en raison de leurs propriétés biologiques et métaboliques intéressantes.

Le terme « microalgues » s'est progressivement imposé dans les mondes scientifique et industriel. En effet, depuis quelques années, la biotechnologie microalgale est devenue un thème de recherche privilégié permettant d'explorer et d'exploiter l'énorme potentiel de ces microorganismes intervenant au sein de nombreux systèmes et dans de multiples secteurs industriels comme les domaines énergétique, pharmaceutique, alimentaire et plus récemment environnemental : comme dépolluant d'effluents industriels gazeux (séquestration de CO₂) ou liquides (fixations de nitrates, phosphates, métaux...) (1).

Toutefois, le problème majeur expliquant le faible développement industriel de ce type de production vient entre autres de la nature des procédés de production. En effet, afin d'optimiser les protocoles les plus pertinents, il est impératif de concevoir et de développer des photobioréacteurs qui permettent une maîtrise poussée des paramètres de culture avec des géométries optimisées adaptées aux contraintes de la production : rentabilité du bioréacteur, la pureté d'algues produites, l'optimisation de l'espace et facilité de l'entretien.

Un photobioréacteur (PBR) est un système de culture clos (culture en milieu isolé de l'extérieur), dont on contrôle les paramètres de croissance (température, pH, composition du milieu de culture, apport en énergie lumineuse et mélange), et qui en présence d'énergie lumineuse assure le bon déroulement de réactions biologiques ; comme par exemple la production de microorganismes photosynthétiques en suspension dans l'eau, tels que les microalgues.

La notion de photobioréacteur date déjà de quelques décennies. Les premiers systèmes clos sont apparus à la fin des années 40 voyant dans les microalgues une source de protéines, mais faute de moyens techniques leur développement a été interrompu et les cultures ont continué à être réalisées en bassins rudimentaires (2). Au début des années 2000, la recherche de source d'énergie renouvelable a réitéré l'intérêt des chercheurs pour les microalgues et de nombreux photobioréacteurs ont été réalisés et expérimentés avec des formes géométriques variées.

Conséquence directe, il existe aujourd'hui une grande diversité de photobioréacteurs (PBR) utilisés dans le cadre de

cultures microalgales, lesquels sont fabriqués dans des matériaux biocompatibles permettant à la fois le transfert de chaleur et une bonne perméabilité pour les faces optiques.

Dans le cadre de notre projet de recherche mené au niveau de l'équipe biomasse et technologie de l'hydrogène de l'URAER sur la valorisation de la biomasse algale, nous nous intéressons à la conception de PBR dédiés à la culture de microalgues et à la production de métabolites secondaires, comme l'hydrogène et les lipides. Toutefois, au vu des obstacles à surmonter nous avons jugé utile de dresser un état de l'art des avancées technologiques réalisées à ce jour dans le domaine de la conception des PBR.

Ainsi, ci-dessous sont présentées les principales catégories de PBR, avec leurs avantages mais aussi leurs inconvénients.

Technologies existantes

Pour croître, les microalgues sont tributaires de plusieurs facteurs de croissance, ainsi, et en fonction des objectifs de culture plusieurs paramètres peuvent s'avérer limitants pour le développement des microorganismes:

- 1 - Les facteurs abiotiques tels que la source de carbone, les nutriments minéraux, la température, la salinité, le pH et la teneur en O₂.
- 2 - Les facteurs biotiques tels que des pathogènes (bactéries, champignons, virus).

De nos jours, les cultures en PBR assurent un meilleur contrôle de ces paramètres, de même le confinement permet un assainissement poussé des cultures particulièrement lors d'essais en milieu hétérotrophe.

Néanmoins, dans les systèmes de culture l'apport d'énergie photonique est très souvent le facteur déterminant susceptible d'influencer la mise en place de structures fiables. De ce fait, les systèmes de production conçus se distinguent principalement par leur utilisation du rayonnement solaire ou d'une source de lumière artificielle (tubes fluorescents, lampes à décharge...). Aussi, deux modes d'exploitation du flux lumineux existent (2).

- 1 - L'éclairage externe (captation directe) : la lumière pénètre dans la culture par la surface exposée.
- 2 - L'éclairage interne (immersion de la source lumineuse) : la lumière est diffusée dans la culture de l'intérieur.

En outre, l'apport en lumière doit être maximisé, mais sans pour autant être létale pour les microorganismes (cas de photoinhibition). Ainsi, la quantité mais aussi la qualité de



l'éclairage reçu par les microorganismes peuvent affecter la productivité mais aussi l'efficacité thermodynamique d'un procédé, ce qui a conduit et a favorisé la mise en place de structures géométriques particulières types plants, tubulaires et cylindriques (à colonnes) qui constituent les trois grandes familles de photobioréacteurs (PBR).

Les familles de photobioréacteurs (PBR) suscitées sont largement utilisées dans les laboratoires de recherche du monde entier (Figure 1). Outre la bonne pénétration de la lumière, ils possèdent chacun leurs propres caractéristiques et certaines spécificités.

Les PBR plants

Conçus par analogie au panneau photovoltaïque et formés par l'agencement de deux panneaux parallèles de forme rectangulaire entre lesquels circule une mince couche de culture d'une épaisseur de quelques centimètres (1 à 10 cm), orientables, avec une inclinaison ajustable (2). Ils ont la particularité de présenter un ratio surface sur volume important et une bonne qualité de transfert gazeux ce qui se traduit par un fort rendement photosynthétique (3). Pourtant, les limitations sont nombreuses et concernent essentiellement l'augmentation des coûts de production suite à la ré-carbonatation des cultures après l'augmentation du pH et des phénomènes de colmatage. De plus, le faible ratio entre surface de refroidissement et surface exposée à la source lumineuse peut induire un mauvais contrôle de la température. Aussi, la présence de zones à faible mélange (coins) affecte les rendements.

Les PBR tubulaires

Considérés par plusieurs auteurs comme étant les plus adéquats pour la culture microalgale, car ils se prêtent bien aux contraintes des photobioréacteurs (courbure exposée favorable à la surface éclairée). On les distingue par leur structure en tubes transparents (verre ou matière plastique) dressés en réseau, organisés de façon horizontale, verticale, inclinée, conique et serpentine et disposés sur des surfaces environnantes peintes en blanc afin d'augmenter la réflectance. Les cultures y sont conduites par circulation en boucle et vont passer alternativement dans la tubulure transparente où elles capteront la lumière et dans une tour de dégazage où elles devront impérativement perdre leur oxygène pour éviter une inhibition de la photosynthèse.

Toutefois, le maintien d'un flux régulier et uniforme le long des tubes est au cœur de la problématique des photobioréacteurs tubulaires. Ainsi, l'augmentation ou la diminution des diamètres et /ou de la longueur des tubes peut générer, respectivement, une photoinhibition et/ ou des pertes de charge qui se traduit par un mauvais mélange et une mauvaise distribution des cultures le long des tubes, ou bien, la formation de biofilms (encrassement des tubes) et /ou la formation de forces de cisaillements néfastes (4).

Les PBR cylindriques

Ils reprennent le principe des colonnes à bulles ou intègrent une zone ascendante d'aération et une zone descendante, sur

le principe airlift. Ils sont généralement placés verticalement, de taille limitée à environ 20 cm de largeur et 2 m de hauteur avec une injection de gaz en bas de colonne.

Contrairement aux deux premiers types de PBR, ce dernier est caractérisé par un faible ratio surface sur volume, donc une faible surface photosynthétique, ainsi, un mixage efficace est nécessaire pour optimiser les cycles entre zones éclairées et zones d'ombres (5).

Toutefois, leur concept est simple et les transferts thermiques et massiques satisfaisants. Reste qu'ils sont peu favorables aux productivités élevées puisque les diamètres importants mènent à des pertes en efficacité photosynthétique et en contrôle des conditions de culture. Ceci implique qu'un nombre important d'unités est requis pour le passage à l'échelle commerciale. Aussi, la disposition verticale des cylindres n'est également pas idéale pour la captation du flux solaire.

Conclusion

Les avantages et inconvénients intrinsèques des systèmes de culture actuels font que la technologie idéale de la valorisation des microalgues n'existe pas. Ainsi, le choix du procédé adéquat est étroitement lié à son usage voulu. Cependant, de grands progrès ont été obtenus ces dernières années, reste qu'il n'en est pas moins vrai que les avancées réalisées dans le domaine du génie des photobioréacteurs ne peuvent répondre au besoin des filières d'industrialisation dans un avenir proche. Toutefois, des procédés hybrides commencent à voir le jour un peu partout ce qui ouvre la voie à de nouvelles approches pour l'optimisation des systèmes à grande échelle.

Références

- (1) R. Filali. 2012: Estimation et commande robustes de culture de microalgues pour la valorisation biologique de CO₂, Thèse doctorat, Ecole Doctorale des Sciences et Technologies de l'Information des Télécommunications et des Systèmes, Paris, p. 17.
- (2) J. Pruvost, J.F. Cornet, F. Borgne et J. Jenck. 2011: Production industrielle de microalgues et cyanobactéries, Techniques de l'Ingénieur, rubrique Innovations (in200), p. 1-17.
- (3) I. Akkerman, M. Janssen, J. Rocha et R.H. Wijffels. 2002: Photobiological hydrogen production: photochemical efficiency and bioreactor design, International Journal Hydrogen Energy, Vol. 27, n° 11. p. 1195-1208.
- (4) M.R. Tredici et G.C. Zittelli. 1998: Efficiency of sunlight utilization: Tubular versus flat photobioreactors, Biotechnology and Bioengineering, Vol. 57, n° 2, p. 187-197.
- (5) L. Brennan, et P. Owende. 2010: Biofuels from microalgae a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 14, n° 2, p. 557-577.