

Modélisation des propriétés radiatives de micro-organismes photosynthétiques et inversion à partir d'analyse spectroscopique

Jérémi Dauchet^{1,2,3}, Stéphane Blanco², Jean-François Cornet¹, Mouna El Hafi³, Richard Fournier²

11 janvier 2011

Les micro-organismes photosynthétiques catalysent la réaction de photosynthèse, qui convertit le dioxyde de carbone CO_2 et l'eau en un très grand nombre de molécules complexes (lipides, protéines, sucres, hydrocarbures...) constituant la biomasse (*i.e* eux mêmes), avec comme sous-produit intéressant du dioxygène O_2 . Ce processus biochimique a pour effet de fixer le CO_2 sous forme de molécules organiques stables pouvant être utilisées dans de nombreux domaines, entre autres les produits à haute valeur ajoutée pour l'industrie pharmaceutique, la production de nourriture, de biocarburants et de dihydrogène [5, 7, 2, 1]. Les micro-organismes photosynthétiques sont présents dans les cours d'eau, les lacs, les océans. On les cultive et on les étudie dans les photobioréacteurs.

Que ce soit dans les océans ou dans les photobioréacteurs, la résolution des transferts radiatifs dans les suspensions aqueuses de micro-organismes photosynthétiques est une étape nécessaire à la compréhension des phénomènes observés [4, 3]. L'étude de ces milieux particuliers nécessite donc de résoudre l'équation de transfert radiatif, et par conséquent, de connaître les propriétés radiatives des micro-organismes photosynthétiques (sections efficaces d'absorption, de diffusion, et fonction de phase). Le travail qui sera présenté à l'occasion de ces journées thématiques propose une méthodologie pour la détermination de ces propriétés. Il correspond à une brique essentielle de l'étude et de l'optimisation des photobioréacteurs qui font l'objet d'une thèse (entre autres) encadrée par le LGCB¹, le LAPLACE² et le RAPSODEE³.

Il y a deux solutions pour la détermination des propriétés radiatives : la mesure expérimentale [2] ou la résolution théorique du problème électromagnétique de l'interaction onde-particule, à partir de la connaissance de la taille, la forme, et l'indice de réfraction des micro-organismes étudiés. La méthodologie présentée repose sur un modèle théorique utilisant l'approximation de la diffraction anormale [9] et l'approximation de l'indice de réfraction homogène équivalent (ou effectif) [8].

Dans un premier temps, la taille et la forme des micro-organismes est déterminée par analyse d'image. Puis, la partie imaginaire de l'indice de réfraction effectif spectral est déduite de la mesure de la teneur en pigments des micro-organismes [4]. A partir de cette information, la partie réelle est reconstruite en utilisant la théorie de Kramers-Krönig [6]. La mise en oeuvre de la théorie de Kramers-Krönig dans la bande spectrale étroite du visible nécessite la connaissance de la partie réelle de l'indice de réfraction effectif pour une fréquence. Cette information est appelée point d'ancrage et peut être estimée de manière prédictive à partir d'informations disponibles dans la littérature. Cependant, il apparaît que cette estimation est grossière et demeure le point faible de cette méthodologie jusque là totalement prédictive. En alternative, une méthode expérimentale simple pour la détermination du point d'ancrage est proposée. Il s'agit d'une inversion sur la mesure de la transmittivité d'une suspension, réalisée grâce à une sphère d'intégration. Les méthodes expérimentales fiables pour la détermination des propriétés radiatives sont relativement complexes car l'inversion porte sur les trois propriétés radiatives et l'unicité est difficile à assurer [2]. Ici l'inversion est plus simple car elle ne porte que sur le point d'ancrage. De plus, la mesure est réalisée pour une seule fréquence. La méthodologie globale est validée sur l'ensemble du spectre visible en comparant la mesure de la transmittivité d'une suspension avec les résultats donnés par l'équation de transfert radiatif pour les propriétés spectrales obtenues.

¹Laboratoire de Génie Chimique et Biochimique (LGCB) EA3866, Université Blaise Pascal, ClermontFerrand II.

²Laboratoire Plasma et Conversion d'Energie (LAPLACE) UMR5213, Université Paul Sabatier Toulouse III.

³Centre de Recherche d'Albi en génie des Procédés des Solides Divisés, de l'Energie et de l'Environnement (RAPSODEE) FRE CNRS 3213, Ecole des Mines d'Albi Carmaux.

Références

- [1] ALLAKHVERDIEV, S. I., THAVASI, V., KRESLAVSKI, V. D., ZHARMUKHAMEDOV, S. K., KLIMOV, V. V., RAMAKRISHNA, S., LOS, D. A., MIMURO, M., NISHIHARA, H., AND CARPENTIER, R. Photosynthetic hydrogen production. *Journal of Photochemistry and Photobiology C : Photochemistry Reviews In Press, Corrected Proof* (2010), –.
- [2] BERBEROGLU, H., GOMEZ, P. S., AND PILON, L. Radiation characteristics of botryococcus braunii, chlorococum littorale, and chlorella sp. used for co2 fixation and biofuel production. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 110, 17 (2009), 1879 – 1893.
- [3] CORNET, J.-F., AND DUSSAP, C.-G. A simple and reliable formula for assessment of maximum volumetric productivities in photobioreactors. *Biotechnol Progress* 25, 2 (2009), 424–435.
- [4] HOEPFFNER, N., AND SATHYENDRANATH, S. Effect of pigment composition on absorption properties of phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series* 73, 1 (1991), 11–23.
- [5] KHAN, Z., BHADOURIA, P., AND BIEN, P. S. Nutritional and therapeutic potential of spirulina. *Current Pharmaceutical Biotechnology* 6 (October 2005), 373–379(7).
- [6] LUCARINI, V. *Kramers-Kronig relations in optical materials research*. Springer, 2005.
- [7] MATA, T. M., MARTINS, A. A., AND CAETANO, N. S. Microalgae for biodiesel production and other applications : A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 1 (2010), 217 – 232.
- [8] MISHCHENKO, M., HOVENIER, J., AND TRAVIS, L. *Light scattering by nonspherical particles : theory, measurements, and applications*. Academic Press, 2000.
- [9] VAN DE HULST, H. C. *Light scattering by small particules*. Dover Publication, Inc., 1981.