

ED STIC - Proposition de Sujets de Thèse pour la campagne d'Allocation de thèses 2015

Axe Sophi@Stic :	<input type="text" value="Environnement"/>
Titre du sujet :	<input type="text" value="Optimisation de la production de biocarburant lipidique par des microalgues"/>
Mention de thèse :	<input type="text" value="ATSI"/>
HDR Directeur de thèse inscrit à l'ED STIC :	<input type="text" value="Olivier Bernard"/>

Co-encadrant de thèse éventuel :

Nom :	<input type="text"/>
Prénom :	<input type="text"/>
Email :	<input type="text"/>
Téléphone :	<input type="text"/>

Email de contact pour ce sujet :	<input type="text" value="olivier.bernard@inria.fr"/>
Laboratoire d'accueil :	<input type="text" value="INRIA"/>

Description du sujet :

Les biocarburants issus de microalgues semblent être une alternative particulièrement prometteuse aux agrocarburants de première génération : en effet les microalgues permettent d'atteindre des rendements à l'hectare d'un facteur dix à trente fois supérieur, sans concurrence avec l'agriculture vivrière et sans que des engrais ou des pesticides soient relargués vers les nappes phréatiques.

Les microalgues sont généralement cultivées dans des étangs à haut rendement (« raceways ») ou dans des photobioréacteurs, qui permettent d'optimiser les conditions de croissance afin de se rapprocher de l'optimum théorique de la photosynthèse, dont le rendement de conversion de l'énergie solaire est de l'ordre de 12%. Ces procédés requièrent néanmoins une quantité importante d'énergie pour mélanger le milieu de culture et pour récolter les microalgues en

suspension, ce qui limite fortement leurs avantages environnementaux.

L'objectif de la thèse est de développer et d'analyser des modèles mathématiques qui permettront de faire le bilan entre l'énergie stockée (sous forme de triglycérides) dans les microalgues, et l'énergie mécanique nécessaire pour mettre en mouvement le milieu de culture, de sorte que chaque microalgue ait successivement accès à la lumière.

Dans cette perspective, un modèle dynamique de photosynthèse et de stockage de carbone (décrit par un système d'équations différentielles ordinaires) sera amélioré et inclura un modèle plus fin décrivant la cinétique d'utilisation des photons au sein des photosystèmes. Ce modèle sera couplé à un modèle hydrodynamique, développé par l'équipe Inria Ange. Ainsi, il sera possible de reconstruire la lumière perçue par une cellule de microalgue, et de prédire le flux de CO₂ fixé au cours de la photosynthèse, et l'accumulation d'huile biocarburant qui en résulte.

Dans un deuxième temps, il s'agira de simplifier le modèle de photosynthèse et de rechercher, par une approche de type « contrôle optimal », les signaux lumineux optimisant la production de lipides. Un critère hybride incluant l'énergie d'agitation du milieu guidera alors la recherche d'un mode opératoire optimal pour la culture. Des stratégies de contrôle en ligne, adaptées aux mesures du flux de photons incident, permettront alors d'optimiser l'agitation du système à chaque instant et de limiter l'utilisation d'énergie exogène.

Les travaux théoriques seront validés et confrontés à des procédés expérimentaux dans le cadre du Laboratoire d'Océanographie de Villefranche-sur-mer, associé à l'équipe Biocore.

<http://www-sop.inria.fr/members/Olivier.Bernard/OBernard-fra.html>

- Baroukh, C., Muñoz-Tamayo, R., Bernard, O., & Steyer, J. P. (2015). Mathematical modeling of unicellular microalgae and cyanobacteria metabolism for biofuel production. *Current Opinion in Biotechnology*, 33, 198-205.
- Baroukh, C., Muñoz-Tamayo, R., Steyer, J. P., & Bernard, O. (2014). DRUM: A New Framework for Metabolic Modeling under Non-Balanced Growth. Application to the Carbon Metabolism of Unicellular Microalgae. *PLoS one*, 9(8), e104499.
- Bernard, O. (2011). Hurdles and challenges for modelling and control of microalgae for CO₂ mitigation and biofuel production. *Journal of Process Control*, 21(10), 1378-1389.
- Grogard, F., Akhmetzhanov, A. R., & Bernard, O. (2014). Optimal strategies for biomass productivity maximization in a photobioreactor using natural light. *Automatica*, 50(2), 359-368.
- Mairet, F., Bernard, O., Masci, P., Lacour, T., & Sciandra, A. (2011). Modelling neutral lipid production by the microalga *Isochrysis aff. galbana* under nitrogen limitation. *Bioresource technology*, 102(1), 142-149.

English version:

Title: Optimizing the production of lipid biofuel from microalgae

Biofuels from microalgae are a particularly promising alternative to first-generation biofuels: indeed microalgae can achieve yields per hectare from ten to thirty times higher than classical biofuels. They do not compete with food crops and no fertilizers or pesticides are leached to groundwater.

Microalgae are generally grown in high yield ponds ("raceways") or in photobioreactors, which optimize the growth conditions. They tend to approach the theoretical optimum of photosynthesis from solar energy (in the order of 12%). These processes still require a significant amount of energy to mix the culture medium and to harvest microalgae in suspension, which greatly limits their environmental benefits.

The aim of the thesis is to develop and analyze mathematical models to compute the balance between the energy stored (as triglycerides) in microalgae and the mechanical energy necessary for moving the culture medium, so that each microalgae has successively access to light.

In this perspective, a dynamical (ODE based) model of photosynthesis and carbon storage will be improved and extended with a refined submodel describing the kinetics of photon use within the photosystems. This model will be coupled with a hydrodynamic model developed by the Ange Inria team. This hydrodynamic model makes it possible to reconstruct the light seen by microalgae cells, and to predict the flow of CO₂ fixed during photosynthesis, and the resulting biofuel accumulation.

In a second stage, the PhD student will simplify the photosynthesis model and determine, with an optimal control viewpoint, the light signals optimizing the production of lipids. A hybrid criterion including the mixing energy will then guide the search for an optimal cultivation strategy. Online control algorithms, adapted to the measured incident photon flux, will optimize the yield of the system at each time instant, limiting the use of exogenous energy.

These theoretical works will be validated and compared with experimental processes developed in the Oceanography Laboratory of Villefranche-sur-mer, associated with Biocore team.

<http://www-sop.inria.fr/members/Olivier.Bernard>

- Baroukh, C., Muñoz-Tamayo, R., Bernard, O., & Steyer, J. P. (2015). Mathematical modeling of unicellular microalgae and cyanobacteria metabolism for biofuel production. *Current Opinion in Biotechnology*, 33, 198-205.
- Baroukh, C., Muñoz-Tamayo, R., Steyer, J. P., & Bernard, O. (2014). DRUM: A New Framework for Metabolic Modeling under Non-Balanced Growth. Application to the Carbon Metabolism of Unicellular Microalgae. *PloS one*, 9(8), e104499.
- Bernard, O. (2011). Hurdles and challenges for modelling and control of microalgae for CO₂ mitigation and biofuel production. *Journal of Process Control*, 21(10), 1378-1389.
- Grogard, F., Akhmetzhanov, A. R., & Bernard, O. (2014). Optimal strategies for biomass productivity maximization in a photobioreactor using natural light. *Automatica*, 50(2), 359-368.
- Mairet, F., Bernard, O., Masci, P., Lacour, T., & Sciandra, A. (2011). Modelling neutral lipid production by the microalga *Isochrysis aff. galbana* under nitrogen limitation. *Bioresource technology*, 102(1), 142-149.