

Resumé

Cette thèse porte sur le design et la validation expérimentale d'algorithmes d'optimisation temps réel afin de maximiser la productivité de la biomasse micro-algal cultivée en mode continue dans un photo-bioréacteur par la méthode de l'extremum-seeking control.

L'extremum seeking control est une technique d'optimisation temps réel ayant pour objectif la maximisation d'une fonction de coût via une adaptation itérative des valeurs de son ou ses entré(es).

Pour l'application sur les micro-algues, la productivité en biomasse est retenue comme la fonction de coût à maximiser. Dans le cas d'une optimisation à une entrée et une sortie, le taux de dilution est l'entrée utilisée. Dans le cas d'une optimisation à deux entrées et une sortie, le taux de dilution et l'intensité de la lumière incidente sur le photo-bioréacteur constituent les deux entrées utilisées.

L'un des gros avantages des approches "model free" de l'extremum seeking réside dans le fait que leur design ne requiert qu'un nombre limité d'information sur le procédé à optimiser. Ils sont donc adaptés au vue de la complexité généralement inhérente aux modèles dynamiques associés aux bio-procédés.

Cependant, le modèle classique d'extremum-seeking utilisant une ensemble de filtres présente malheureusement de sérieux inconvénients qui le rendent quasi-inutilisable dans la pratique pour l'optimisation des bio-procédés car ils ont des constantes de temps exprimées généralement en jours. Les deux limitations majeures sont: son design euristique et son temps de convergence très lent.

Pour faire face à ces limitations, cette thèse propose une approche basée sur un contrôle adaptatif du gradient de la fonction de coût à optimiser. Elle introduit une procédure de design systématique permettant de fixer à priori le temps de convergence souhaité. De plus, l'utilisateur a maintenant la possibilité d'utiliser un seul et même algorithme pour soit fixer la productivité de la biomasse micro-algal à une valeur désirée et connue, soit l'amener à sa valeur maximale (à priori inconnue). Ceci est réalisable dans le cas d'une optimisation à une entrée ou à deux entrées.

De plus, pour l'optimisation à deux entrées, il est possible d'amener et maintenir la fonction de coût à une valeur désirée tout en minimisant/maximisant soit

toutes les deux entrées soit l'une des deux en fonction de ce qui est le plus intéressant économiquement.

Tout ceci est rendu possible par une parfaite orchestration de 3 éléments: un algorithme robuste d'estimation des paramètres, un générateur de référence de gradient et un contrôleur adaptatif de type placement de pôles minimisant l'erreur entre le gradient estimé et la référence générée.

Le schéma de contrôle proposé fait l'hypothèse que la relation entre la fonction de coût et la ou les entrées peut être représentée par un "block oriented model" quadratique dans lequel une fonction de transfert linéaire est utilisée pour capturer la majeure partie des dynamiques de procédés et que la "static map" est approchée par un polynôme du second ordre en les entrées.

La robustesse de cette modélisation est renforcée par la démonstration dans cette thèse de l'équivalence des modèles Hammerstein, Wiener et Wiener-Hammerstein quadratiques pour l'optimisation à une entrée.

Finalement, les résultats de simulation illustrent la robustesse et l'efficacité du schéma de contrôle proposé sur un exemple numérique ou sur différents modèles dynamiques de cultures de micro-algues en présence de bruits de mesures dans le cas d'une optimisation à une entrée et celui à deux entrées. Ces résultats sont confirmés expérimentalement sur une culture de micro-algue dans un photobioréacteur de laboratoire complètement automatisé.