

# HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

## HDR

NANTES UNIVERSITE

Spécialité : Génie des procédés

Par

**Guillaume COGNE**

### **Analyse de systèmes biochimiquement réactifs impliquant des processus photochimiques**

Application aux micro-organismes photosynthétiques cultivés en photobioréacteurs

Travaux présentés et soutenus à Saint-Nazaire, le 27 juin 2025

Unité de recherche : GEPEA – UMR CNRS 6144

#### **Rapporteurs avant soutenance :**

Claude-Gilles DUSSAP

Marie-Thérèse GIUDICI-ORTICONI

Stéphane GUILLOUET

Professeur des Universités, Université Clermont Auvergne

Directrice de Recherche, CNRS

Professeur des Universités, INSA Toulouse

#### **Composition du Jury :**

Rapporteurs : Claude-Gilles DUSSAP  
Marie-Thérèse GIUDICI-ORTICONI  
Stéphane GUILLOUET

Examineurs : Gilles CURIEN  
Stéphane DELAUNAY  
Jack LEGRAND  
Natalie LEYS  
Jérémy PRUVOST

Professeur des Universités, Université Clermont Auvergne  
Directrice de Recherche, CNRS  
Professeur des Universités, INSA Toulouse  
Chargé de Recherche CNRS, CEA Grenoble  
Professeur des Universités, Université de Lorraine  
Professeur des Universités, Nantes Université  
Directrice de Recherche, SCK CEN  
Professeur des Universités, Nantes Université

#### **Invité(s)**

Christophe LASSEUR

Docteur, Chef du projet MELISSA, de 1992 à 2023, Agence Spatiale Européenne (ESA/ESTEC), Noordwijk, Pays-Bas

**Titre :** Analyse de systèmes biochimiquement réactifs impliquant des processus photochimiques : Application aux micro-organismes photosynthétiques cultivés en photobioréacteurs

**Mots clés :** photobioréacteurs, micro-organismes photosynthétiques, modélisation du comportement cellulaire, dynamique métabolique

**Résumé :** Ce mémoire d'habilitation à diriger des recherches présente une approche intégrée et systémique de la modélisation et de l'analyse des micro-organismes photosynthétiques cultivés en photobioréacteurs. L'objectif principal des travaux décrits est de mieux comprendre et maîtriser l'activité de ces organismes dans des environnements contrôlés, en s'appuyant sur des méthodologies de modélisation dynamique, de quantification des flux métaboliques et d'analyse des régulations physiologiques.

La première partie du mémoire est consacrée à l'élaboration d'un cadre méthodologique permettant d'utiliser les photobioréacteurs comme outils d'investigation des mécanismes biologiques. Une attention particulière est portée à la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique et à son intégration dans les voies métaboliques, en vue d'identifier les limitations énergétiques et les points de contrôle critiques du métabolisme.

La seconde partie met en avant le développement de modèles biochimiquement structurés, appliqués à *Chlamydomonas reinhardtii*, un organisme modèle largement utilisé en recherche. Ces modèles permettent de décrire les processus métaboliques associés à la croissance autotrophe, tout en intégrant les interactions entre photosynthèse, respiration et adaptation pigmentaire. Ils offrent un cadre générique pour prédire la réponse dynamique des microalgues aux fluctuations environnementales, notamment celles liées à l'éclairement dans un photobioréacteur.

La dernière partie s'appuie sur ces bases pour proposer des outils d'estimation en temps réel et de contrôle des photobioprocédés. En combinant modélisation, bilans gazeux et données en ligne, ces outils permettent une surveillance avancée et une optimisation des bioprocédés.

**Title :** Analysis of biochemically reactive systems involving photochemical processes: Application to photosynthetic microorganisms cultivated in photobioreactors

**Keywords :** photobioreactors, photosynthetic microorganisms, cellular behavior modeling, metabolic dynamics

**Abstract :** This habilitation thesis presents an integrated and systemic approach to the modeling and analysis of photosynthetic microorganisms cultivated in photobioreactors. The primary objective of the described work is to better understand and control the activity of these organisms in controlled environments, leveraging methodologies such as dynamic modeling, metabolic flux quantification, and the analysis of physiological regulations.

The first part of the thesis focuses on developing a methodological framework to use photobioreactors as tools for investigating biological mechanisms. Particular attention is given to the conversion of light energy into chemical energy and its integration into metabolic pathways, aiming to identify energy limitations and critical control points within the metabolism.

The second part highlights the development of biochemically structured models applied to *Chlamydomonas reinhardtii*, a widely used model organism in research. These models describe the metabolic processes associated with autotrophic growth while integrating interactions between photosynthesis, respiration, and pigment adaptation. They offer a generic framework for predicting the dynamic responses of microalgae to environmental fluctuations, particularly those related to illumination within a photobioreactor.

The final part builds upon these foundations to propose tools for real-time estimation and control of photobioprocesses. By combining modeling, gas balance analysis, and online data, these tools enable advanced monitoring and optimization of bioprocesses.