

Version en français

English version from page 6

Proposition de sujet de thèse

Octobre 2022 – Septembre 2025

Maîtriser et modéliser la croissance d'une levure biotechnologique à partir de milieux issus de déchets organiques

Mots clés : croissance microbienne, levure oléagineuse, modélisation thermodynamique, déchets organiques, facteurs environnementaux, biocarburant.

Champs disciplinaires : génie des bioprocédés, biotechnologie industrielle, modélisation à base physique

Contexte

L'Union européenne et la France se sont fixé l'objectif ambitieux de parvenir à une économie à zéro émission de carbone d'ici 2050 (Conseil européen, 2022). La bioéconomie devrait jouer un rôle important en remplaçant les produits pétrochimiques par des produits chimiques biosourcés fabriqués à partir de ressources biologiques renouvelables. Dans ce cadre, l'utilisation des déchets organiques comme ressource, objectif central de la bioraffinerie environnementale, représente une option attrayante en raison du fort potentiel de remplacement des combustibles fossiles et du faible coût (souvent négatif) des matières premières.

Les déchets organiques peuvent être hydrolysés et transformés par voie biologique en molécules organiques solubles comme des acides carboxyliques, sous l'action de cultures mixtes microbiennes dans des procédés de biotechnologie environnementale. Ces conversions ont lieu dans des procédés dits de fermentation sombre ou encore en utilisant des procédés bioélectrochimiques innovants sur lesquels travaille l'unité PROSE de l'INRAE (Desmond-Le Quémener et al. 2019 ; Moscoviz et al. 2018). Les acides carboxyliques ainsi formés peuvent être utilisés par des microorganismes dédiés à la production de biomolécules dans des procédés de biotechnologie industrielle (Park et al., 2021). Parmi ceux-ci, *Yarrowia lipolytica* est une levure oléagineuse présente dans différents milieux naturels comme les fromages, l'eau de mer et les sols pollués avec du pétrole (Zieniuk & Fabiszewska, 2019). Ce champignon strictement aérobic est capable de produire un large éventail de molécules (dont des lipides, colorants et bioplastiques) à partir de sources de carbone disponibles dans les déchets (Amaral et al. 2007). *Yarrowia lipolytica* peut donc constituer une usine cellulaire avec des applications industrielles dans les secteurs oléochimique et des biocarburants (Beopoulos, 2009).

Ce microorganisme peut exister sous deux formes, mycélienne et unicellulaire. Pour des applications biotechnologiques, la forme unicellulaire peut être la plus adaptée et les conditions de stress, souvent nécessaires pour une bonne aération, doivent être minimisées. De plus, l'aération peut être une source de coûts considérables dans les procédés industriels et l'optimisation de l'apport en oxygène hautement souhaitable. Selon l'application biotechnologique, il peut être nécessaire de contrôler le profil des acides gras. Les principaux paramètres permettant de contrôler le profil des acides gras sont la température et le potentiel hydrogène (pH) de la culture. La température a une influence importante sur le coût de production et la productivité de la culture. Le profil des acides le plus souhaitable peut être obtenu à des températures plus basses, mais le taux de croissance le plus faible est également observé à ces températures.

La mise en place raisonnée d'une telle usine biotechnologique requiert donc une connaissance précise des conditions optimales de croissance et de bioconversion du microorganisme. Ces conditions comprennent à la fois la composition du milieu de culture, la concentration en oxygène dissous, ainsi que des facteurs environnementaux tels que la température et le pH.

Pour établir ces conditions, une stratégie couplant expérimentation et modélisation est nécessaire. La modélisation constitue un outil performant pour la compréhension et l'optimisation de bioprocédés (La et al. 2020 ; Puentes et al., 2021 ; Robles Rodrigues, 2016). Tout en étant complémentaire et en dialogue permanent avec l'expérimentation, la modélisation permet de mieux concevoir et de limiter le nombre d'expériences nécessaires à l'étude d'un système complexe.

Concernant le phénomène de croissance microbienne, l'approche de modélisation repose souvent sur des lois phénoménologiques. Bien qu'efficace pour la description des dynamiques de cultures pures en système fermé, ce type de modèles ont une capacité prédictive limitée et ne permettent pas d'établir un lien fondamental avec la force motrice de la croissance, freinant ainsi le développement de nouvelles applications en biotechnologie.

Ce doctorat s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche ayant pour but de concevoir un cadre théorique générique pour la modélisation de dynamiques microbiennes. Ce cadre s'appuie sur le modèle thermodynamique de l'état microbien de transition (MTS) (Desmond-Le Quéméner & Bouchez, 2014). Celui-ci définit un lien entre le taux de croissance et le bilan énergétique du métabolisme avec un nombre réduit de paramètres ajustables. Ce modèle a fait ses preuves dans la prédiction de l'organisation des communautés microbiennes retrouvées par exemple dans les stations de traitement des eaux (Delattre et al, 2019) ainsi que dans la représentation des dynamiques de croissance et de bioconversion de cultures pures en suspension (Dussaut et al, 2022 ; Puentes et al, 2022).

Néanmoins, des améliorations sont nécessaires pour capturer l'effet de facteurs environnementaux sur la dynamique microbienne. Parmi ces paramètres, un travail théorique et expérimental sur l'influence de la température est en cours et permettra d'élaborer pour élaborer une nouvelle version du modèle MTS. En revanche, l'influence d'autres facteurs chimiques comme le pH demeure encore inexplorée dans ce cadre théorique.

Description du sujet et programme de recherche proposé

L'objectif du doctorat est de décrire et de comprendre l'influence de la composition du milieu de culture, la concentration en oxygène dissous et des paramètres environnementaux sur la croissance de *Yarrowia lipolytica*, tout en s'appuyant sur le modèle thermodynamique MTS comme outil de représentation et de prédiction dynamique.

Les travaux de modélisation seront confrontés et validés avec des données expérimentales obtenues dans des conditions de culture maîtrisées, de l'échelle laboratoire au bioréacteur pilote (5L de capacité).

Le projet proposé ici est une collaboration entre le LGPM, laboratoire qui possède des compétences dans la modélisation et la mise en œuvre de bioprocédés, et l'INRAE PROSE, spécialisée dans l'étude de biotechnologies microbiennes pour des applications environnementales. Le programme de recherche comprend 5 parties :

1. Etude bibliographique sur : culture et métabolisme de *Yarrowia lipolytica* ; modélisation thermodynamique de la croissance microbienne ; impact de la température, de l'oxygène dissous et du pH sur la croissance microbienne.
2. Expériences de culture microbienne de *Yarrowia lipolytica* avec suivi de la consommation du substrat carboné, de l'oxygène dissous ainsi que de la production de métabolites (e.g. accumulation de lipides et de

- polyhydroxyalcanoates). Conception d'un plan d'expériences intégrant comme variables : composition du milieu de culture, concentration en oxygène dissous, température et pH.
3. Prise en main de la version initiale du modèle MTS et exploration des travaux de modélisation réalisés pour des cultures pures et des consortiums microbiens.
 4. Amélioration du modèle MTS pour la prédiction de l'effet de la température et du pH sur les dynamiques microbiennes :
 - a. Température : compréhension et prise en main des travaux réalisés sur la température et adaptation du programme informatique.
 - b. pH : formulation mathématique de l'effet du pH sur la vitesse de croissance et intégration au programme informatique.
 5. Calibration et validation du modèle avec les données disponibles sur la dynamique de croissance et de bioconversion de *Yarrowia lipolytica* à différentes compositions du milieu de culture et différentes conditions de température et pH.

Moyens matériels à disposition

a. Choix de milieux de culture

Les milieux de culture pour *Yarrowia lipolytica* seront obtenus à partir de déchets alimentaires par fermentation sombre et à partir de réacteurs bioélectrochimiques selon des protocoles bien établis (Desmond-Le Quémener et al. 2019). Les déchets alimentaires proviennent d'une industrie de collecte de biodéchets qui alimente des digesteurs anaérobies (Valdis Energie, Issé). Ils sont issus des cantines d'écoles, des marchés, des produits expirés ou non conformes.

b. Culture microbienne

Les différentes conditions de culture seront étudiées expérimentalement dans un premier temps à l'INRAE PROSE à l'aide d'un appareil mettant en œuvre 48 puits de culture en parallèle avec contrôle de température. Cet appareil assure un suivi en ligne de la croissance par mesure de la densité optique (Figure 1). Cette stratégie expérimentale permettra l'obtention rapide d'un grand nombre de données expérimentales pour le calage des modèles (Sachithantham, 2021).

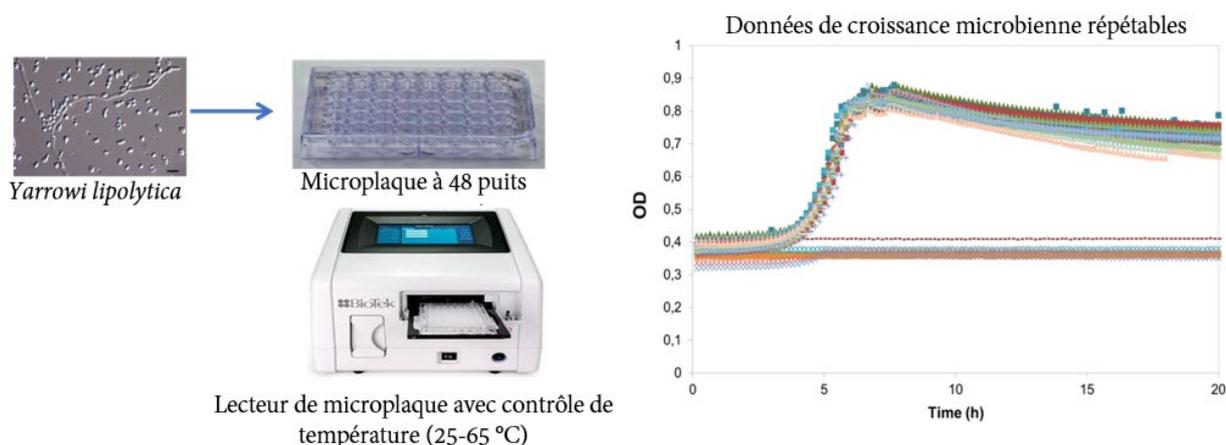


Figure 1. Appareil de culture en microplaques avec agitation, contrôle de la température, et mesure en continu de la croissance par lecture de la densité optique. Travaux de Sachithantham (2021) à INRAE PROSE.

Dans un deuxième temps, des expériences en mode batch seront réalisées dans un bioréacteur de 5 L de capacité (Figure 2). Ce réacteur est composé d'une cuve en verre autoclavable avec agitateur mécanique et instrumenté avec des sondes de température, de pH et d'oxygène dissout (Hussennet, 2017). Un panneau de contrôle permet la visualisation de données acquises en temps réel. L'objectif de ces expériences est de déterminer des conditions optimales de croissance tout en garantissant l'aération nécessaire pour la production de lipides. L'accumulation de

métabolites (lipides et polyhydroxyalcanoates) pourra être suivie à partir de marqueurs fluorescents (Figure 3) (Sachithantham, 2021).



Figure 2. Bioréacteur Sartorius BIOSTAT® B avec panneau de contrôle présent au LGPM.

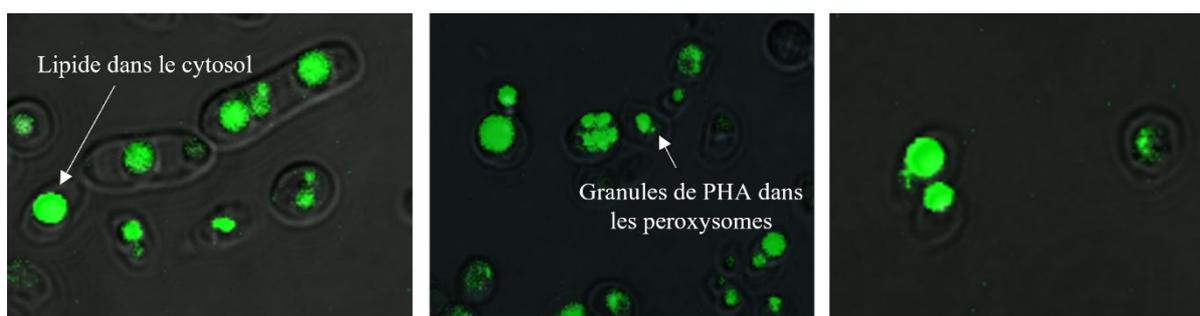


Figure 3. Observation microscopique des levures sur milieu de fermentation. Le marqueur BODIPY™ 493/503 marque les lipides dans le cytosol ainsi que les polyhydroxyalcanoates (PHA) dans les peroxysomes. Travaux de Sachithantham (2021) à INRAE PROSE.

c. Modélisation des dynamiques de croissance et bioconversion

Les travaux de modélisation dynamique et d'identification paramétrique, appuyées sur les données générées en microplaque et en bioréacteur, seront mis en œuvre avec des outils classiques de solution d'équations différentielles ordinaires et de régression non linéaire programmés dans un langage scientifique type MATLAB.

Encadrement

Direction :

- Behnam Taidi (behnam.taidi@centralesupelec.fr), Professeur, LGPM, CentraleSupélec.
- Théodore Bouchez (theodore.bouchez@inrae.fr), Directeur de Recherche, Unité PROSE, INRAE.

Co-encadrement :

- Cristian Puentes (cristian.puentes@centralesupelec.fr), Maître de conférences, LGPM, CentraleSupélec.

Le doctorant réalisera sa thèse au LGPM, dans l'établissement CentraleSupélec à son campus de Saclay (91190, Gif-sur-Yvette). Le projet sera mené en étroite collaboration à l'unité PROSE de l'INRAE (92761, Antony), où une partie du travail expérimental sera réalisé. Des réunions d'avancement réguliers avec les trois encadrants seront programmées et un compte rendu des échanges devra être préparé. Le doctorant devra également rédiger un rapport bibliographique à l'issue de la première année de thèse et devra présenter son avancement à un jury à l'école doctorale pour son inscription en seconde année. Il pourra également participer à une conférence nationale et/ou internationale en cours de thèse. Au moins une publication dans un journal avec comité de lecture sera nécessaire pour l'obtention du diplôme de doctorat.

Financement et candidature

Bourse de thèse de l'École Doctorale SMEMaG (Université Paris-Saclay). Possibilité d'une mission complémentaire à CentraleSupélec, Campus de Paris-Saclay.

Candidature à adresser par mail à Behnam Taidi, Théodore Bouchez et Cristian Puentes avant la date limite de candidature.

Date limite de candidature : **25 Avril 2022** sur le site de l'ADUM <https://www.adum.fr/>.

Profil du candidat

- Titulaire d'une formation en génie des bioprocédés (niveau ingénieur ou master M2).
- Première expérience industrielle ou de recherche dans le domaine de biotechnologies microbiennes (expérience en microbiologie ou biochimie ou en chimie analytique ; expérience en conduite de cultures microbiennes).
- Savoir-faire en programmation (connaissance d'un langage de programmation scientifique : entre autre MATLAB, R, Python).
- Goût pour la modélisation.
- Nous recherchons un candidat curieux, autonome, dynamique et rigoureux. Une bonne maîtrise de l'anglais est essentielle. De bonnes capacités relationnelles sont aussi demandées pour une intégration rapide aux laboratoires.

English version

PhD thesis proposal

October 2022 – September 2025

Understanding and modeling the growth of a biotechnological yeast from organic waste media

Key words: microbial growth, oleaginous yeast, thermodynamic modeling, organic waste, environmental factors, biofuel.

Scientific fields: bioprocess engineering, industrial biotechnology, physics-based modeling

Context

The European Union and France have set an ambitious goal of achieving a zero-carbon economy by 2050 (European Council, 2022). Bioeconomy is expected to play an important role in replacing petrochemicals with bio-based chemicals made from renewable biological resources. Within this framework, the use of organic waste as a resource, the central objective of environmental biorefining, represents an attractive option due to the high potential for replacing fossil fuels and the low (often negative) cost of the raw materials.

Organic wastes can be hydrolyzed and biologically transformed into soluble organic molecules such as carboxylic acids, under the action of mixed microbial cultures in environmental biotechnology processes. These conversions take place in so-called dark fermentation processes or by using innovative bioelectrochemical processes on which the PROSE unit of INRAE is working (Desmond-Le Quémener et al. 2019; Moscoviz et al. 2018). The carboxylic acids thus formed can be used by microorganisms for producing biomolecules in industrial biotechnology processes (Park et al., 2021). Among these, *Yarrowia lipolytica* is an oleaginous yeast present in different natural environments such as cheeses, seawater and oil-polluted soils (Zieniuk & Fabiszewska, 2019). This strictly aerobic fungus is capable of producing a wide range of molecules (including lipids, dyes, and bioplastics) from carbon sources available in waste (Amaral et al. 2007). *Yarrowia lipolytica* can therefore be a cellular factory with industrial applications in the oleochemical and biofuel sectors (Beopoulos, 2009).

This microorganism can exist in mycelial and unicellular forms. For biotechnological applications, the unicellular form is the most suitable and the stress conditions, often necessary for good aeration, should be minimized. Moreover, since aeration can be a source of considerable cost in industrial processes, optimization of oxygen supply is highly desirable. Depending on the biotechnological application, it may be necessary to control the fatty acid profile. The main parameters to control the fatty acid profile are the temperature and hydrogen potential (pH) of the culture. Temperature has a significant influence on the production cost and productivity of the culture. The most desirable acid profile can be obtained at lower temperatures, but the lowest growth rate is also observed at these temperatures.

The rational implementation of such a biotechnological plant requires a precise knowledge of the optimal conditions for growth and bioconversion of the microorganism. These conditions include both the composition of

the culture medium, the concentration of dissolved oxygen, as well as environmental factors such as temperature and pH.

In order to establish these conditions, a strategy coupling experimentation and modeling is necessary. Modeling is a powerful tool for understanding and optimizing bioprocesses (La et al. 2020; Puentes et al., 2021; Robles Rodrigues, 2016). While being complementary and in permanent dialogue with experimentation, modeling allows for better design and limits the number of experiments required to study a complex system.

Regarding the phenomenon of microbial growth, the modeling approach is often based on phenomenological laws. Although effective for the description of pure culture dynamics in closed systems, this type of model has a limited predictive capacity and does not establish a fundamental link with the driving force of the growth, thus limiting the development of new applications in biotechnology.

This PhD thesis is part of a research program that aims to construct a generic theoretical framework for modeling microbial dynamics. This framework is based on the microbial transition state (MTS) thermodynamic model (Desmond-Le Quéméner & Bouchez, 2014). This model defines a link between growth rate and metabolic energy balance with a reduced number of adjustable parameters. This model has successfully predicted the organization of microbial communities found in wastewater treatment plants (Delattre et al, 2019) as well as the representation of growth and bioconversion dynamics of pure suspended cultures (Dussaut et al, 2022; Puentes et al, 2022).

Nevertheless, improvements are needed to capture the effect of environmental factors on microbial dynamics. Among these parameters, theoretical and experimental work on the influence of temperature is underway and will allow the development of a new version of the MTS model. On the other hand, the influence of other chemical factors such as pH remains unexplored in this theoretical framework.

Aim and research program

The objective of this PhD is to describe and understand the influence of the composition of the culture medium, dissolved oxygen concentration and environmental parameters on the growth of *Yarrowia lipolytica*, while relying on the thermodynamic model MTS as a tool for representation and dynamic prediction.

The modeling work will be confronted and validated with experimental data obtained under controlled culture conditions, from the laboratory scale to the pilot bioreactor (5L capacity).

The project proposed here is a collaboration between LGPM, a laboratory with expertise in modeling and bioprocesses design, and INRAE PROSE, specialized in the study of microbial biotechnologies for environmental applications. The research program is composed of 5 parts:

1. Literature review on: culture and metabolism of *Yarrowia lipolytica*; thermodynamic modeling of microbial growth; impact of temperature, dissolved oxygen and pH on microbial growth.
2. Microbial culture experiments of *Yarrowia lipolytica* with monitoring of carbon substrate consumption, dissolved oxygen as well as metabolite production (lipid and polyhydroxyalkanoate accumulation). Experimental design integrating variables: composition of the culture medium, dissolved oxygen concentration, temperature and pH.
3. Understanding of the initial version of the MTS model and exploration of the modeling work done for pure cultures and microbial consortia.
4. Improvement of the MTS model for predicting the effect of temperature and pH on microbial dynamics:
 - a. Temperature: understanding of the work done on the temperature effect and adaptation of the computer program.

- b. pH: mathematical formulation of the pH effect on the growth rate and integration into the computer program.
5. Calibration and validation of the model with the available data on the dynamics of growth and bioconversion of *Yarrowia lipolytica* at different compositions of the culture medium and different temperature and pH conditions.

Material resources available

a. Choice of culture media

Culture media for *Yarrowia lipolytica* will be obtained from food waste by dark fermentation and from bioelectrochemical reactors following well-established protocols (Desmond-Le Quémener et al. 2019). The food waste comes from a biowaste collection industry that feeds anaerobic digesters (Valdis Energie, Issé). They come from school restaurants, markets, expired or non-compliant products.

b. Microbial culture

The different culture conditions will be studied experimentally in a first step at INRAE PROSE using a microplate apparatus composed of 48 culture wells with temperature control. This apparatus ensures an on-line follow-up of the microbial growth by measuring optical density (Figure 1). This experimental strategy will allow the rapid acquisition of a large amount of experimental data for model calibration (Sachithantham, 2021).

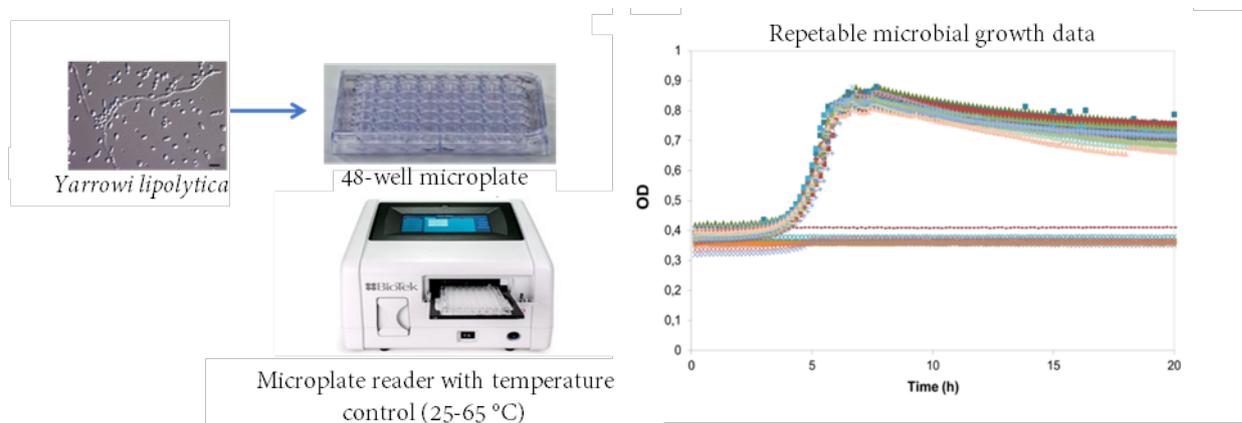


Figure 1. Microplate culture apparatus with agitation, temperature control, and continuous measurement of growth by optical density reading. Work by Sachithantham (2021) at INRAE PROSE.

In a second step, batch experiments will be performed in a 5 L capacity bioreactor (Figure 2). This reactor is composed of an autoclavable glass vessel with mechanical stirrer and instrumented with temperature, pH, and dissolved oxygen probes (Hussennet, 2017). A control panel allows visualization of acquired data in real time. The objective of these experiments is to determine optimal growth conditions while ensuring the necessary aeration for lipid production. The accumulation of metabolites (e.g. lipids and polyhydroxyalkanoates, PHA) can be monitored using fluorescent markers (Figure 3) (Sachithantham, 2021).



Figure 2. Sartorius BIOSTAT® B bioreactor with control panel at LGPM.

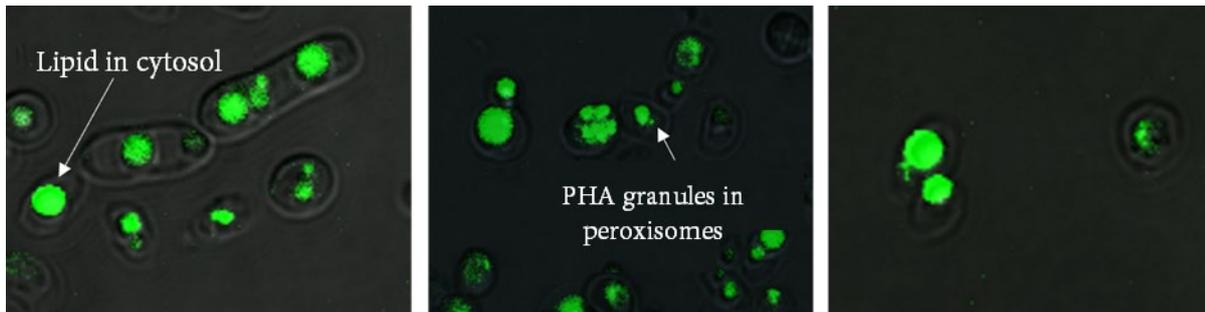


Figure 3. Microscopic observation of yeast on fermentation medium. The BODIPY™ 493/503 marker labels lipids in the cytosol as well as polyhydroxyalkanoates (PHA) in peroxisomes. Work by Sachithantham (2021) at INRAE PROSE.

c. Modeling of growth dynamics and bioconversion

The dynamic modeling and parametric identification work, based on the data generated in microplate apparatus and bioreactor, will be implemented with classical tools for the solution of ordinary differential equations and nonlinear regression programmed in a scientific software such as MATLAB.

Supervision

Direction:

- Behnam Taidi (behnam.taidi@centralesupelec.fr), Full Professor, LGPM, CentraleSupélec.
- Théodore Bouchez (theodore.bouchez@inrae.fr), Research Director, PROSE, INRAE.

Advising:

- Cristian Puentes (cristian.puentes@centralesupelec.fr), Associate Professor, LGPM, CentraleSupélec.

The PhD project will take place at LGPM, laboratory attached to CentraleSupélec Engineering School at Paris-Saclay campus (91190, Gif-sur-Yvette, France). The project will be conducted in close collaboration with PROSE unit of INRAE (92761, Antony), where part of the experimental work will be carried out. Regular progress meetings with the three supervisors will be scheduled and a report of the exchanges will be prepared. The PhD student will also write a bibliographic review at the end of the first thesis year and will present his progress to a jury from the doctoral school for registration in second year. He/she may also participate in a national and/or international conference. At least one publication in a peer-reviewed journal will be required to obtain the PhD degree.

Funding and application

PhD thesis scholarship from the SMEMaG Doctoral School (Université Paris-Saclay). Possibility of a complementary teaching mission at CentraleSupélec, Paris-Saclay Campus.

Application to be sent by email to Behnam Taidi, Théodore Bouchez and Cristian Puentes before the deadline.

Application deadline: **25 April 2022** on ADUM <https://www.adum.fr/>.

Candidate profile

- Holder of a degree in bioprocess engineering (engineering level or a Master of Science).
- First industrial or research experience in the field of microbial biotechnologies (experience in microbiology or biochemistry or in analytical chemistry; experience in microbial culture).
- Programming skills (knowledge of a scientific programming language: e.g. MATLAB, R, Python).
- Interest in modeling.
- We are looking for a curious, autonomous, dynamic and rigorous candidate. A good level of English is essential. Good interpersonal skills are also required for a quick integration in the laboratories.

Références/References

- Amaral P.F.F., de Almeida P.R., Peixoto T. Rocha-Leão M.H.M., Coutinho J.A.P., Coelho M. A. Z. (2007), Beneficial effects of enhanced aeration using perfluorodecalin in *Yarrowia lipolytica* cultures for lipase production. World Journal of Microbiology and Biotechnology 23, 339–344.
- Beopoulos A. (2009), Ingénierie génétique de la levure oléagineuse *Yarrowia lipolytica* pour la production de lipides. Thèse de doctorat. AgroParisTech.
- Conseil européen. Changement climatique : ce que fait l'UE. COP26 : des avancées, mais des efforts supplémentaires s'imposent pour atteindre l'objectif de 1,5 degré. Site web : <https://www.consilium.europa.eu/fr/policies/climate-change/>. Consulté le 21 février 2022.
- Delattre H., Desmond-Le Quémener E., Duquennois C., Filali A., Bouchez T. (2019), Consistent microbial dynamics and functional community patterns derived from first principles. The ISME Journal 13, 263-276,
- Desmond-Le Quemener E. & Bouchez T. (2014), A thermodynamic theory of microbial growth. The ISME Journal 8, 1747-1751.
- Desmond-Le Quémener E., Bridier A., Tian J.-H., Madigou C., Bureau C., Y. Qi Y., Bouchez T. (2019), Biorefinery for heterogeneous organic waste using microbial electrochemical technology, Bioresource Technology 292 121943.
- Dussaut C., Puentes C., Passot S., Fonseca F., Trelea I.C., Bouchez T. (2019), Thermodynamic modelling of microbial growth using the MTS model: growth of *Carnobacterium maltaromaticum* for biotechnological purposes. Publication en cours de rédaction.
- La A., Du H., Taidi, B., Perre P. (2020), A predictive dynamic yeast model based on component, energy, and electron carrier balances. Biotechnology and Bioengineering 117(9), 2728-2740.
- Moscoviz R., Trably E., Bernet N., Carrère H. (2018), The environmental biorefinery: state-of-the-art on the production of hydrogen and value-added biomolecules in mixed-culture fermentation, Green Chemistry, 20, 3159-3179.
- Park Y.-K., González-Fernández C., Robles-Iglesias R., Vidal L., Fontanille P., Kennes C., Tomás Pejó E., Nicaud J.-M., Fickers P. (2021), Bioproducts generation from carboxylate platforms by the non-conventional yeast *Yarrowia lipolytica*, FEMS Yeast Research, 21.

- Puentes C., Girardeau A., Passot S., Fonseca F., Trelea I.C. (2021), Dynamic modeling of *Carnobacterium maltaromaticum* CNCM I-3298 growth and metabolite production, and model-based process optimization. *Foods* 10(8) 1922.
- Puentes C., de Fouchécour F., Trelea C., Bouchez T. (2022), Exploring the Microbial Transition State theory for pure cultures: Application to the growth dynamics of *Acetobacter* sp. CIP 58.66 on glycerol. Publication en cours de rédaction.
- Robles Rodrigues C. (2016), Modélisation et optimisation de la production de biolipides par les levures oléagineuses. Thèse de doctorat. Université de Toulouse.
- Sachithanantam T. (2021), Vers une stratégie innovante de production de bioplastiques à partir de déchets alimentaires. Mémoire de Master 2. INRAE-PROSE.
- Zieniuk B., Fabiszewska A. (2019), *Yarrowia lipolytica*: a beneficial yeast in biotechnology as a rare opportunistic fungal pathogen: a minireview. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 35 (10).