

# 3VS2040 - Ingénierie des Procédés - contrôle commande

Responsables : **Filipa LOPES , Sihem TEBBANI**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12**

Année académique : **2024-2025**

Niveau avancé : **non**

---

## Présentation, objectifs généraux du cours :

Les biotechnologies et plus particulièrement l'étude de bioprocédés sont au cœur des préoccupations actuelles avec les exigences environnementales et écologiques dans le cadre du développement durable. Les applications de bioprocédés sont très variées : la dépollution, les biocarburants, les cosmétiques, l'alimentation, ...

L'un des objectifs majeurs lors de la conception et conduite d'un bioprocédé est d'assurer son fonctionnement optimal, à savoir la maximisation de son rendement tout en minimisant les coûts.

Ce cours a pour objectif d'acquérir les compétences de base pour comprendre, analyser et concevoir les structures de supervision et de conduite de bioprocédés, et plus spécifiquement les systèmes de culture de microorganismes dans des bioréacteurs.

Les concepts présentés sont généraux et pourront être transposés à la conduite de procédés chimiques.

## Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence) :

SM10

## Prérequis :

Il n'y a aucun prérequis spécifique.

## Plan détaillé du cours (contenu) :

Le cours est constitué de trois parties.

Dans un premier temps, la modélisation d'une culture en bioréacteur est détaillée pour aboutir à des modèles mathématiques aptes à décrire le comportement macroscopique du bioprocédé.

La deuxième partie s'attachera à présenter la stratégie de conception de capteur logiciel afin de reconstruire les variables biologiques non disponibles en ligne. Ces capteurs permettront par ailleurs d'assurer la surveillance (ou monitoring) du système.

Enfin, la troisième partie du cours s'appuiera sur les concepts présentés lors des deux parties précédentes afin de concevoir des lois de commandes performantes permettant de maintenir le

système dans un point de fonctionnement optimal.

Les cours seront illustrés par des applications concrètes de culture de microorganismes (bactéries, microalgues et levures) en bioréacteurs. Ces exemples seront un fil conducteur tout le long du cours (modélisation, estimation, optimisation et commande).

- Modélisation macroscopique mathématique : La modélisation macroscopique mathématique du bioprocédé est formulée selon un formalisme qui sera utilisé tout au long du cours. Cette modélisation concernera le cas de bioréacteurs (1h30 CM)
- Observation/monitoring (capteurs logiciels). (1h30 CM).
- TD : modélisation et estimation de bioprocédé. (1h30)
- Conditions optimales de fonctionnement : Détermination des conditions optimales de fonctionnement, soit expérimentalement ou numériquement. Les concepts généraux de l'optimisation sont présentés. (1h30 CM)
- Commande de bioprocédés : Les méthodes de commande les plus rencontrées pour les bioprocédés seront présentées, en partant de méthodes classiques (PID par exemple) vers des techniques avancées adaptées pour les systèmes complexes, non linéaires et incertains. (3h CM)
- TD : estimation et commande de bioprocédé. (3h)

## Déroulement, organisation du cours :

Cet enseignement est composé de cours magistraux suivi de TD.

Les TD seront réalisés avec pour support des logiciels numériques, sur des exemples concrets de bioprocédés avec des applications environnementales.

## Organisation de l'évaluation :

Evaluation de type projet (en binôme).

## Moyens :

- Equipe enseignante : Sihem Tebbani, Didier Dumur.
- Taille des TD : 35
- Outils logiciels : Matlab.

## Acquis d'apprentissage visés dans le cours :

A l'issue de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Analyser le fonctionnement d'un bioprocédé, de modéliser son comportement de façon macroscopique et de proposer des solutions pour améliorer ses performances et son rendement
- Savoir proposer et concevoir des capteurs logiciels pour la surveillance d'un bioprocédé (monitoring) en tenant compte de critères techniques et économiques (faisabilité, précision des mesures et coûts associés)
- Comprendre et analyser les lois de commande existantes implantées pour la conduite d'un bioprocédé
- Savoir proposer et concevoir des lois de commande pour obtenir un fonctionnement optimal du bioprocédé, pour différentes applications (alimentaire, biochimie, environnement, production de

produits pharmaceutiques, culture de cellules animales...)

- Transposer la démarche à la supervision et commande de procédés chimiques.

## Description des compétences acquises à l'issue du cours

:

- Analyse, design and build complex systems with scientific, technological, human and economic components (C1).
- Develop in-depth skills in an engineering field and a family of professions (C2).

## Bibliographie :

- Support utilisé en cours (transparents).
- Current Developments in Biotechnology and Bioengineering, éditeurs Ch. Larroche, M. Sanromaín, G. Du, A. Pandey. Elsevier, 2017.
- On-line Estimation and Adaptive Control of Bioreactors, G. Bastin, D. Dochain, Elsevier, 1990.
- Automatic Control of Bioprocesses, éditeur D. Dochain. Wiley-ISTE, 2008. Disponible également en Français.
- CO<sub>2</sub> Biofixation by Microalgae: Modelling, estimation and Control, S. Tebbani, F. Lopes, R. Filali, D. Dumur, D. Pareau, Wiley-ISTE, 2014. Disponible également en Français.
- Le chémostat, J. Harmand, C. Lobry, A. Rapaport, T. Sari. Wiley-ISTE, 2017.
- Monitoring and Control of Fermenters, G. Montague, IChemE, 1997.
- Process Dynamics and Control, D.E. Seborg, T.F. Edgar, D.A. Mellichamp, John Wiley, 2nd edition, 2004.