

# Mastère Spécialisé<sup>®</sup> - Bioprocédés Génie des procédés en biotechnologie

## PROGRAMME



Accrédité par :



Labélisé par :





## CPE LYON, UNE GRANDE ECOLE

---

Ecole d'ingénieurs de statut associatif privé, créée il y a 130 ans, CPE Lyon a déjà formé plus de 10 000 ingénieurs.

Chacun d'eux a choisi parmi l'une des deux spécialités proposées par l'école :

- Chimie – Génie des procédés
- Electronique – Télécommunications – Informatique

Trois diplômes d'ingénieurs peuvent être obtenus :

- Ingénieur en chimie – génie des procédés
- Ingénieur en électronique
- Ingénieur en informatique et réseaux de communication (en apprentissage)

CPE Lyon c'est :

- 1200 élèves en cycle d'ingénieur
- 270 diplômés par an
- 7 laboratoires de recherche en chimie – génie des procédés et électronique - télécommunications – informatique
- 500 enseignants-chercheurs, dont 24 doctorants

## UN CENTRE DE FORMATION CONTINUE AU SERVICE DE L'INDUSTRIE

---

CPE Lyon formation continue se positionne comme le partenaire privilégié de l'évolution durable des connaissances au sein des entreprises :

- Chaque année, 3000 stagiaires accueillis sur 300 modules de formation en inter-entreprises ou intra-entreprises
- Organisation et animation de journées thématiques spécifiques
- Mise en place de parcours de formation
- Formation diplômante
- Conseil, suivi et accompagnement sur des projets

Le centre de Formation Continue est situé en plein cœur de Lyon, à proximité de la gare de Perrache

# LE MASTERE SPECIALISE ®

---

## PUBLIC ET OBJECTIFS

---

Ce Mastère Spécialisé ® , co-organisé par CPE Lyon et l'ENSIC de Nancy, apporte une spécialisation ou une double compétence répondant à la demande des industries de plus en plus nombreuses à mettre en œuvre des procédés de bioproduction : **pharmacie, cosmétique, agroalimentaire, chimie, énergie (bio-carburants), environnement.**

L'objectif est d'acquérir une connaissance approfondie et une visibilité des processus de bioproduction pour s'insérer dans l'un des secteurs industriels à des postes de responsabilité.

Il est dédié à des candidats salariés ayant une expérience professionnelle et souhaitant travailler en R&D, production, bureaux d'études, assurance qualité. Cette formation peut s'adresser également à des étudiants de formation initiale (ayant Bac + 5).

Il est constitué de modules comprenant des cours, des travaux dirigés ou études de cas, des enseignements pratiques et des projets, complétés par une thèse professionnelle.

## PLANNING

---

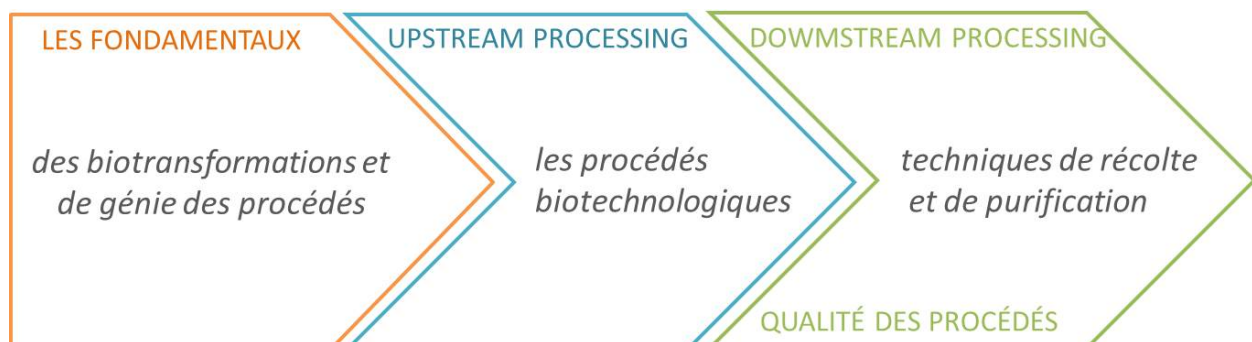
La formation s'étale sur **12 mois** : le programme académique se déroule de janvier à début juillet, le reste de l'année étant consacré à la thèse professionnelle (au total, 1165h de travail académique et personnel, 500 à 800h en entreprise).

Le Mastère Spécialisé ® étant une **formation diplômante**, des évaluations sont prévues durant les six premiers mois de la formation et à l'issue de la thèse professionnelle. Ces évaluations donnent lieu à l'acquisition de 75 **crédits ECTS** (European Credits Transfer System) qui permettent l'obtention du diplôme.

## PROGRAMME

---

Le programme du Mastère spécialisé ®- Bioprocédés - Génie des Procédés en Biotechnologie se déroule en 15 modules regroupés en 3 parties :



## PEDAGOGIE

---

Enseignement pluridisciplinaire et professionnalisant avec une forte dimension participative avec des travaux personnels et collectifs, études de cas, visites d'entreprises, des conférences.

L'équipe pédagogique est composée de professionnels experts reconnus de l'industrie, et d'institutionnels.

## CYCLE DE CONFERENCES

---

Le Mastère spécialisé® est assorti d'un cycle de conférences faisant intervenir des experts de différents domaines.

Ces conférences sont ouvertes au grand public et sont accessibles librement, sur inscription (plus d'information sur le site [www.cpe.fr](http://www.cpe.fr)).

## COMPETENCES ACQUISES

---

Les compétences acquises à l'issue de la formation

- A l'issue de notre formation, les diplômés disposeront des compétences suivantes :
  - Pluridisciplinaire : connaissances et compréhension intégrées des concepts fondamentaux des biotransformations, du génie des procédés, acquisition des compétences spécialisées pour les procédés biotechnologiques et les technologies d'isolement et de purification des molécules.
  - Capacité à mener un ou des projets de développement de bioprocédés, s'appuyant sur les méthodologies de gestion de projets et de management d'équipes.
  - Capacité à organiser et optimiser la marche d'une installation de bioréacteur, dans le souci de la qualité, des délais et des coûts impartis.
  - Aptitude à gérer l'amélioration continue des bioprocédés, dans le respect des normes et réglementations en vigueur.
  - Capacité à faire évoluer / convertir les équipements traditionnels, en assurant l'expertise technique, le dialogue avec les bureaux d'études, les laboratoires de recherche, et les équipementiers.
  - Manager des équipes : Aptitude à former, dynamiser les équipes de production.

## LES METIERS VISES

Les métiers visés sont les métiers directement concernés par les installations de bio-productions : ingénieur bioprocédés, responsables de bio-productions, cadre de recherche et développement.

# SOMMAIRE

	<b>LES FONDAMENTAUX DES BIOTRANSFORMATIONS ET DU GENIE DES PROCÉDES</b>	<b>Page</b>
<b>Partie 1</b>	<b>MODULE 1</b> Biochimie structurale et métabolique	26 h <b>7</b>
	<b>MODULE 2</b> Microbiologie – Bactéries, levures, virus	34.5 h <b>8</b>
	<b>MODULE 3</b> Mécanique des fluides : écoulement et agitation des fluides	37 h <b>9</b>
	<b>MODULE 4</b> Apports du génie génétique pour l'amélioration des souches	32 h <b>10</b>
	<b>MODULE 5</b> Biologie cellulaire : fonctionnement et expression de la cellule	31.5 h <b>11</b>
	<b>MODULE 6</b> Transferts de matières et transferts de chaleur	28 h <b>12</b>
	<b>APPROFONDISSEMENT : <i>UPSTREAM PROCESSING</i></b>	
<b>Partie 2</b>	<b>MODULE 7</b> Microbiologie industrielle	60.5 h <b>13</b>
	<b>MODULE 8</b> Culture de cellules animales pour des productions industrielles	25 h <b>15</b>
	<b>MODULE 9</b> Extrapolation du laboratoire au fermenteur industriel – modélisation	31.5 h <b>17</b>
	<b>MODULE 10</b> Conception – optimisation d'un procédé de fermentation	25.5 h <b>18</b>
	<b>APPROFONDISSEMENT : <i>DOWNSTREAM PROCESSING</i></b>	
<b>Partie 3</b>	<b>MODULE 11</b> Techniques séparatives sur membranes	28.5 h <b>19</b>
	<b>MODULE 12</b> Chromatographie industrielle des biomolécules	33 h <b>20</b>
	<b>MODULE 13</b> Intégration, validation et qualité des procédés	43 h <b>21</b>
	<b>MODULE 14</b> Du produit vrac au produit formulé - Séparation par centrifugation – Extraction par solvant	24 h <b>22</b>
	<b>MODULE 15</b> Bioconversions	24.5h <b>24</b>
<b>JT</b>	<b>JOURNEE THEMATIQUE</b> La chaîne du solide	7h <b>25</b>
	<b>FORMATION</b> Management de projet Analyse bibliographique et rédaction de rapport Formation rédaction CV et Lettre de motivation	12.5h <b>26</b>
	<b>CONFERENCE</b> Cycle de conférences	6h <b>26</b>
	<b>Visite de Site</b> Visite d'un site de bioproduction	3h <b>26</b>



## M1 – BIOCHIMIE STRUCTURALE ET METABOLIQUE

### DUREE

5 Jours

26 heures : 18h cours - 8h TP

**ECTS** : 2 ECTS

**LIEUX** : CPE Lyon

### OBJECTIFS

Connaître les caractéristiques, la réactivité, la stabilité des différentes molécules et macromolécules constituant la cellule végétale, animale, ou microbienne.

Appréhender le métabolisme

### PRE-REQUIS

Connaissances de base en chimie organique

## PROGRAMME

### BIOCHIMIE

- Biochimie des principales molécules et macromolécules biologiques
- Protéines-glucides-lipides
- Les enzymes : structure
- Relations structure – fonction : le site actif
- La réaction enzymatique : éléments de cinétique et méthodes d'études
- Etudes de cas
- Applications

J. WALLACH (ex UCBL)

### BIOCHIMIE METABOLIQUE

- Introduction au métabolisme
- Glycolyse et cycle de Krebs

A. REA-BOUTROIS (CPE Lyon)

### TRAVAUX PRATIQUES

- Analyse de substrat : glucose / fructose par méthode DNS
- Mesure d'activité enzymatique : l'invertase ( $V_m / K_m$ )
- Etude effet PH & Température sur l'activité enzymatique

E. PETIOT  
A. SELMI  
(CPE Lyon)



## M2 – MICROBIOLOGIE – BACTERIES, LEVURES, VIRUS

### DUREE

5 Jours

34.5 h : 22.5 h cours – 12 h TP

**ECTS** : 3 ECTS

### OBJECTIFS

Connaître les caractéristiques, comprendre le comportement des microorganismes et les principes de culture dans des milieux et conditions variables.

Etre capable de les caractériser et de les conserver.

### PRE-REQUIS

Connaissances de base en biochimie structurale, chimie et biochimie métabolique.

## PROGRAMME

### INTRODUCTION A LA MICROBIOLOGIE

- La cellule microbienne
- Notions de physiologie microbienne
- Milieux de culture
- Conservation des souches
- Contamination - décontamination

Y. DEMARIGNY  
(ISARA)

### BACTERIOLOGIE

- Présentation des principales bactéries
- Méthodes d'identifications innovantes
- Contamination - décontamination

D. BLAHA  
(UCBL)

### MICROORGANISME CELLULAIRE

- Levures
- Champignons filamenteux

D. BLAHA  
(UCBL)

### VIROLOGIE

- Virus
- Structure, classification, multiplication

E. PETIOT  
(UCBL/VIRPATH)

### TRAVAUX PRATIQUES

- **Séance 1 :**
  - Présentation des techniques microbiologiques
  - Présentation du matériel de microbiologie / organisation du poste de travail / consignes de travail aseptique / Présentation des principales techniques (isolement-repiquage-purification)
  - Ensemencement de milieux pour l'étude du type respiratoire
- **Séance 2 :**
  - Analyse de produits : eau, médicament
  - Galerie API<sup>®</sup>
  - Mise en évidence du métabolisme bactérien
  - Enzymes respiratoires, types respiratoires, types métaboliques
  - Observation microscopique après coloration de Gram des 3 souches
- **Séance 3 :**
  - Observation macroscopique
  - Observation de préparations microscopiques après coloration
  - Lecture des contrôles d'hygiène
  - Lecture des milieux pour dénombrement dans un produit : eau, médicament
  - Lecture et interprétation des résultats des différentes galeries API<sup>®</sup>

Y. DEMARIGNY  
(ISARA)





## M3 - MECANIQUE DES FLUIDES : ÉCOULEMENT ET AGITATION DES FLUIDES

### 🕒 DUREE

5 Jours

37 h : 25.5 h cours – 11.5 h TP

ECTS : 3 ECTS

### OBJECTIFS

Comprendre le comportement des fluides dans une installation.

Calculer les pertes de charge subies par un fluide en écoulement dans une conduite.

Sélectionner le type de pompe le mieux adapté pour véhiculer un fluide et dimensionner une installation de pompage dans son ensemble.

Initiation à l'agitation et caractéristiques d'un mobile d'agitation. Application de l'agitation dans les bioprocédés.

### PRE-REQUIS

Connaissances de base en :

- Statique des fluides.
- Physique et génie chimique.
- Mathématiques (calculs différentiels & intégral).

## PROGRAMME

### METHODOLOGIE DU GENIE CHIMIQUE

- Etablissement d'un schéma de procédé
- Définition d'un volume de contrôle et établissement de bilans

D. COSSERAT,  
N. RODRIGUEZ  
(CPE Lyon)

### MECANIQUE DES FLUIDES

- Rappels d'hydrostatique
- Relations fondamentales de la dynamique des fluides parfaits : équation d'Euler et de Bernoulli
- Application de l'équation de Bernoulli : mesures de débit et de pression
- Equation générale des pertes de charge
- Critère de Reynolds : écoulement laminaire, écoulement turbulent
- Calcul des pertes de charge
- Mécanique des fluides : courbe de réseau d'un circuit
- Les pompes :
  - Pompes volumétriques, pompes centrifuges,
  - Caractéristique des pompes
  - Méthodes de réglage des débits
  - Cavitation et NPSH
  - Règles de similitude
- Rhéologie des fluides complexes

D. COSSERAT,  
N. RODRIGUEZ  
(CPE Lyon)

### AGITATION

- Choix du mobile
- Puissance dissipée et nombre de puissance
- Débit de pompage, nombre de pompage, débit de circulation
- Temps de mélange
- Introduction au transfert gaz-liquide
- Exercices bilan sur l'agitation

JP. EUZEN  
(exIFPEN)

### TRAVAUX PRATIQUES

- **TP / TD n°1: les pertes de charge**

- **TP / TD n°2: Les pompes**

Travaux Pratiques & exercices bilan sur les pertes de charge et les pompes

D. COSSERAT,  
N. RODRIGUEZ  
(CPE Lyon)

- **TP 3 : Agitation**

Détermination du nombre de puissance de différents mobiles d'agitation et détermination du coefficient de transfert en phase liquide.

JP. EUZEN,  
P. MONKAM  
(CPE Lyon)



## M4 – APPORTS DU GENIE GENETIQUE POUR L'AMELIORATION DES SOUCHES

### DUREE

5 Jours

32 h : 18 h cours / 12 h TP / 2 h TD

**ECTS** : 3 ECTS

### OBJECTIFS

Connaître et comprendre les bases théoriques et techniques de la biologie moléculaire.

Etre apte à dialoguer avec les spécialistes de biologie moléculaire.

Etre capable de proposer la construction de nouvelles souches utiles au développement, à l'innovation et à l'amélioration de Bioprocédés.

### PRE-REQUIS

Connaissances de base en biochimie et en chimie organique.

## PROGRAMME

### ELEMENT DE GENIE GENETIQUE

- Biologie moléculaire
  - Composition et structure de l'ADN
  - Réplication de l'ADN
- Transcription de l'ADN
  - Composition de l'ARN
  - Régulation des gènes : Epissage Gènes constitutifs, Gènes inductifs, opéron
- Traduction
  - ARN de transfert, ribosomique
  - Code génétique et dégénérescence
- Technique de biologie moléculaire
  - Gel d'agarose,
  - Endonucléase
  - Northern and Southern Blotting
  - PCR
  - QPCR
  - DNA Sequencing

F. NICOLLE  
(UCLy)

### GENIE GENETIQUE

- Boîte à outils enzymatiques (ligases, nucléases.....)
- Outils moléculaires (vecteurs, marquages.....)
- Stratégie de clonage
  - Identification du gène
  - Exemples industriels
- Outils d'évolution des enzymes
  - Approche classique
  - Approche moléculaire
    - Mutation dirigée
    - Error prone PCR
    - Gene shuffling

A.SELMI /A.REA-BOUTROIS  
(CPE Lyon)

### BIOINFORMATIQUE

### TRAVAUX DIRIGES

- Exercices d'applications
- Construction de carte plasmidique

A. REA-BOUTROIS  
(CPE Lyon)

### TRAVAUX PRATIQUES

- Mini-prép à partir d'un culot bactérien (souche porteuse d'un plasmide)
- PCR pour amplification du gène d'intérêt
- Digestion enzymatique
- Gel d'électrophorèse pour vérification présence gène

A. SELMI  
(CPE Lyon)



## M5 – BIOLOGIE CELLULAIRE : FONCTIONNEMENT ET EXPRESSION DE LA CELLULE

### DUREE

4.5 Jours  
31, 5 h : 21.5 h cours / 10 h TP

**ECTS** : 3 ECTS

### OBJECTIFS

Acquérir les bases de la biologie cellulaire :

- structure et physiologie des cellules eucaryotes,
- techniques de bases de culture cellulaire.

### PRE-REQUIS

Connaissances de bases en biochimie et biologie moléculaire.

## PROGRAMME

### BIOLOGIE CELLULAIRE

- Composants de la cellule
- Structures et fonction des organites cellulaires
- Signalisation cellulaire
- Cycle cellulaire
- Mort cellulaire
- Transformation tumorale

C. MAISSE  
(UMR 754 RPV, Lyon)

### LES TECHNIQUES DE CULTURE CELLULAIRE :

- Culture en suspension, adhérentes
- Technique d'amplification, passage
- Equipements

C. MAISSE  
(UMR 754 RPV, Lyon)

### LES CELLULES EN CULTURE :

- Origine et caractéristiques
- Culture primaire
- Lignées cellulaires finies, transformées
- Cellules souches
- Notion de banques cellulaires
- Evolution des cellules en culture : taux de croissance, temps de doublement
- Cryoconservation de cellules

K. MOREAU  
(UCBL, CIRI, Lyon)

### LE LABORATOIRE DE CULTURE CELLULAIRE :

- Organisation
- Hygiène et sécurité des personnels et environnement
- Classe de confinement
- Les contaminations

C. MAISSE  
(UMR 754 RPV, Lyon)

### ANTICORPS MONOCLONAUX

P. FONTENEAU  
(exUniv Strasbourg)

### TRAVAUX PRATIQUES

- Mise en situation dans une zone confinée
- Initiation au travail sous PSM
- Mise en culture de cellules adhérentes
- Numération, Test de viabilité
- Observation des cellules mises en culture
- Infection virale
- Test hemagglutination
- Numération, estimation du nombre de génération, temps de doublement
- Mise en évidence de l'infection virale par immuno-marquage

K. MOREAU  
C. MAISSE



## M6 – TRANSFERTS DE MATIERES ET TRANSFERTS DE CHALEUR

### DUREE

3.5 Jours  
28 h : 20 h cours / 8 h TP

**ECTS** : 3 ECTS

### OBJECTIFS

Etablir les bilans de chaleur et de matière aux bornes d'un équipement en régime permanent et en régime transitoire.

Calculer, simuler et prédire le fonctionnement d'installations optimisant les consommations de matières et d'énergie, la qualité et la régularité des produits ;

S'approprier les critères de choix des matériels et des matériaux.

Dimensionner une installation.

Savoir rédiger un cahier des charges à l'intention des bureaux d'études ou des équipementiers.

### PRE-REQUIS

Connaissances de base en :

- mathématiques (algèbre, analyse, équations différentielles ordinaires),
- physique (unités, dimensions, phénomènes de transfert)
- mécanique des fluides.

## PROGRAMME

### TRANSFERT THERMIQUE

- Modes de transfert de la chaleur : conduction, convection (libre et forcée), rayonnement.
- Conduction : établissement d'un bilan de chaleur et application aux géométries simples en régime permanent et transitoire.
- Convection : utilisation des corrélations issues de l'analyse dimensionnelle.

**E. FAVRE**  
(ENSIC Nancy ;  
Université de Lorraine )

### ECHANGEURS DE CHALEUR

- Méthodologie de dimensionnement et technologie.

**E. SCHAER**  
(ENSIC Nancy ;  
Université de Lorraine )

### TRANSFERT DE MATIERE

- Etablissement des bilans de matière.
- Transport diffusionnel et convectif.
- Transfert en milieu polyphasique : utilisation de corrélations.
- Corrélations
- Notion d'étage théorique, cascades, modes opératoires (co-courant, contre-courant).
- Exemple : absorption gaz-liquide, aspects technologiques et dimensionnement d'une unité.

**E. FAVRE**  
(ENSIC Nancy ;  
Université de Lorraine)

### TRAVAUX PRATIQUES

- Transfert thermique : Echangeur de chaleur.
- Transfert de matière : Extraction d'un soluté dans une colonne à agitation mécanique.

**B.BELAISSAOUI**  
**T. ROQUES CARMES**  
(ENSIC Nancy ;  
Université de Lorraine)



## M7 – MICROBIOLOGIE INDUSTRIELLE

### **DUREE :**

**8,5 Jours**

**60,5 h** : 29,5 h cours / 24 h TP / 7 h TD & Projet

**ECTS** : 5 ECTS

### **OBJECTIFS**

Connaître et comprendre les bases théoriques du métabolisme et de la croissance microbienne.

Etre capable de mettre en œuvre et d'optimiser les procédés de cultures avec bactéries, levures, champignons en tenant compte des contraintes de biosécurité.

### **PRE-REQUIS**

Connaissances approfondies de microbiologie et de biochimie métabolique.

Connaissances approfondies de transfert de matière et de chaleur.

## PROGRAMME

### **METABOLISME**

- Rappel sur le métabolisme
- Néoglucogenèse
- Voie des pentoses phosphate
- Métabolisme anaérobie. Exemple de métabolisme anaérobie
- Etude de cas (bilan carbone et redox)
- Voies de synthèse de métabolites industriels
- Relation entre métabolisme et nutrition
- Composition cellulaire
- Besoin nutritif
- Diversité métabolique

**J. DELAVEAU**  
(CPE Lyon)

### **CROISSANCE MICROBIENNE**

- Multiplication cellulaire : Phases de croissance, outils de suivi de la croissance, facteurs influençant la croissance
- Taux de croissance & maintenance
- Vitesse spécifique de consommation de substrat et de production de métabolites
- Rendements carbone et oxygène
- Modèles de croissance : Monod & Modèles dérivés (limitation/inhibition par le substrat)
- Exemples d'applications
- Stœchiométrie du métabolisme microbien. Bilans
- Mode d'établissement de la stœchiométrie, application au calcul d'un réacteur
- Bilan matières, bilans de degré de réduction

**F. DUMAINE**  
(Sanofi Pasteur)

### **FERMENTEUR**

- Design
- Agitation, aération
- Transfert de masse gaz/liquide et liquide/solide
- Solubilité du gaz,  $k_L a$ , oxygène dissous. Rôle de l'aération, l'agitation, la pression, la viscosité, du produit bio synthétisé et de l'anti-mousse ...
- Méthodologie du design d'un réacteur pour un procédé donné
- Transfert de chaleur : Maintien en température.

**P. PITIOT**  
(SOLVAY Saint-Fons)

### **APPLICATIONS**

- Exemples d'application de microbiologie industrielle

**V. DUBOIS**  
(DSM)

### **TECHNOLOGIE DES FERMENTEURS**

- Etude comparative de différents types de fermenteurs
- Conception, réalisation de fermenteurs
- Constituants d'un fermenteur : vannes, filtres, condenseur, capteurs, etc
- Différents cycles de stérilisation
- Transferts stériles

**Q. CURTIL**  
(Fermentec conseil)

- Nouvelles générations de fermenteurs

### **ETUDE DE CAS**

**B. CABANE (ex DSM)**  
**P. PITIOT (SOLVAY Saint-Fons)**

### **CONCEPTION D'UNE UNITE DE PRODUCTION**

- Périmètre / scope / contraintes du projet
- Organisation (équipe projet, rôles et responsabilités, pilotage)
- Principaux livrables (études de faisabilité, étude de base, étude détaillée, réalisation, qualifications et validations)
- Hand-over et ramp-up

**G. BENET**  
**(Ex MERIAL)**

### **TRAVAUX PRATIQUES**

- Mise en culture d'une levure en bioréacteur

**Y. MOUGINOT (EPL – Saint Genis Laval)**



## M8 – CULTURE DE CELLULES ANIMALES POUR DES PRODUCTIONS INDUSTRIELLES

### DUREE

5 Jours

25 h : 16.5 h cours/ 4.5h TP/

4 h de projet

**ECTS** : 3 ECTS

### OBJECTIFS

Connaitre la théorie et les méthodologies de mise en œuvre de la culture de cellules animales.

Etre capable de mettre en œuvre des procédés de culture de cellules animales.

S'approprier les techniques récentes de culture en masse des cellules animales, avec l'utilisation de concepts du génie biochimique et du génie des procédés.

### PRE-REQUIS

Connaissances approfondies de biologie cellulaire et de biochimie métabolique.

Connaissances approfondies de transfert de matière et de chaleur.

## PROGRAMME

### INTRODUCTION AUX PROCÉDES INDUSTRIELS

- Produits, Applications
- Lignées cellulaires
- Milieux de culture

### ETUDES CINÉTIQUES, APPROCHE THÉORIQUE

- Bases de génie biochimique
- Application à divers procédés : discontinu, continu, semi-continu, perfusé

### IMPACT DES PARAMÈTRES OPÉRATOIRES SUR LES CINÉTIQUES

- Influence des paramètres opératoires du procédé de culture sur les cinétiques cellulaires (croissance, mort, métabolisme, production) : paramètres biochimiques (substrats, métabolites) et physico-chimiques (oxygène, pH, osmolarité, température).

### CYTOCULTEURS : MODES DE FONCTIONNEMENT ET TECHNOLOGIES

- Systèmes à petite échelle pour le criblage des milieux
- Réacteurs à usage unique
- Procédés de culture pour cellules adhérentes
- Technologies, mises en œuvre et avantages comparés entre réacteurs fermés, semi-continus, continus, perfusés

### MODIFICATIONS POST-TRADUCTIONNELLES DE PROTÉINES RECOMBINANTES

- Qualités des produits recombinants. Importance de la réglementation
- Description des principales modifications
- Méthodes analytiques
- Influence du procédé sur la qualité des produits

### MORT CELLULAIRE DANS LES BIOPROCEDES

- Description macro et microscopique de la mort cellulaire au cours des bioprocédés
- Influence des conditions opératoires
- Méthodes de caractérisation de la mort cellulaire

### PAT ET INSTRUMENTATION DE BIOREACTEURS

- Définition et but de l'approche PAT
- Mesures off line et on line, Chimométrie
- Exemple pour le suivi en culture de cellules animales

### PROJET PERSONNEL

- Calculs de paramètres cinétiques à partir d'exemples réels.

**A. MARC**  
(CNRS/Université de  
Lorraine – Nancy)

**E. GUEDON**  
(CNRS/Université de  
Lorraine – Nancy)

**B. EBEL**  
(CNRS/Université de  
Lorraine – Nancy)

**A. MARC**

## **TRAVAUX PRATIQUES**

- **TP 1** : Préparation d'un bioréacteur (sondes, stérilisation, régulations,...)
- **TP 2** : Criblage de milieux de culture par analyse haut-débit des cellules
- **TP 3** : Traitement des données cinétiques par ordinateur

**F. BLANCHARD**

**I. CHEVALOT**

**E. GUEDON**





## M9 – EXTRAPOLATION DU LABORATOIRE AU FERMENTEUR INDUSTRIEL - MODELISATION

### DUREE

5 Jours  
31.5 h : 15h cours /9.5 h TP/ 7 h projet

**ECTS** : 3 ECTS

### OBJECTIFS

Connaître et mettre en pratique les méthodes de transfert d'échelles (scale up et scale down) pour les bioprocédés.

Simuler et développer les procédés de culture de l'échelle industrielle.

Etre capable de rédiger un cahier des charges à l'intention des bureaux d'études ou des équipementiers.

### PRE-REQUIS

Connaissances de base de mécanique des fluides. de transfert de matière et de chaleur.

Bases du génie des procédés de culture de cellules animales (bioréacteur, agitation, aération).

## PROGRAMME

### AGITATION & HYDRODYNAMIQUE DE CYTOCULTEURS

- Définition des régimes d'écoulement
- Impact de la technologie sur les capacités de mélange
- Calcul de temps de mélange et de pompage
- Estimation des contraintes hydromécaniques critiques

### AERATION DE CYTOCULTEURS & OUTILS TRAITEMENT DES DONNEES

- Définition du  $kla$  et de l'OTR
- Impact des conditions opératoires sur les capacités de transfert d'oxygène
- Avantages et inconvénients des technologies d'aération

### INTRODUCTION AUX METHODES DE L'EXTRAPOLATION

### TD SCALE UP SCALE DOWN SIMULATION NUMERIQUE DES ECOULEMENTS

### EXTRAPOLATION & INTRAPOLATION BIOREACTEURS

### TRAVAUX PRATIQUES

- **TP 1** : Agitation des fluides complexes
- **TP 2** : Extrapolation de capacité d'aération

**E. OLMOS**  
(CNRS/Université de  
Lorraine – Nancy)

**I. CHEVALOT**  
(CNRS/Université de  
Lorraine – Nancy)

**E. OLMOS**  
**I.CHEVALOT**



## M10 – CONCEPTION – OPTIMISATION D'UN PROCÉDE DE FERMENTATION

### DUREE

5 Jours  
25.5 h

**ECTS** : 2 ECTS

### OBJECTIFS

Mettre en œuvre une démarche intégrée de conception-optimisation d'un bioprocédé industriel dans le cadre d'une étude de cas de production.

Elaborer un simulateur cinétique du procédé de fermentation basé sur une modélisation des processus limitant de la réaction microbienne, du transfert d'oxygène et du transfert de chaleur, et intégrant les facteurs d'échelle.

Construire un simulateur de dimensionnement et d'évaluation économique de l'ensemble du procédé de fermentation, incluant les étapes de stérilisation et de séparation du produit.

A l'aide des simulateurs, optimiser la conception et la conduite du procédé de fermentation pour l'obtention d'une productivité maximale ou d'un coût de production minimal.

### PRE-REQUIS

Connaissances approfondies en microbiologie.

Connaissances approfondies de transfert de matière et de chaleur.

Connaissances approfondies des bilans matière et énergie.

Notions d'utilisation de tableurs numériques.

## PROGRAMME

Module d'enseignement organisé sous la forme d'un projet d'étude d'un procédé industriel de fermentation d'acide glutamique

Il comprend les tâches suivantes :

- Construction d'un simulateur de la fermentation d'acide glutamique à partir d'études cinétiques
- Construction d'un simulateur de dimensionnement et d'évaluation économique de l'ensemble du procédé de fermentation et de séparation du produit
- Optimisation de la conception et conduite du procédé dans différents modes de mise en œuvre (discontinu, continu, fed-batch)
- Rédaction du rapport d'étude final critique

**J.M. ENGASSER**  
(Université de Lorraine)



## M11 – TECHNIQUES SEPARATIVES SUR MEMBRANES

### DUREE

4 Jours -  
28.5h : 18.5 h cours / 10 h TP

**ECTS** : 3 ECTS

### OBJECTIFS

Connaître et comprendre les théories et concepts des techniques séparatives sur membranes.

Etre capable de dimensionner, simuler et choisir les procédés d'isolement, de concentration et de purification.

Etre capable d'élaborer un cahier des charges de l'installation industrielle à partir des essais de laboratoire.

### PRE-REQUIS

Connaissances approfondies de mécanique des fluides.

Connaissances approfondies de transfert de matière et de chaleur.

Connaissances approfondies des bilans matière et énergie.

## PROGRAMME

### INTRODUCTION

- Procédés de séparation et membranes.
- Notion de perméabilité (loi de Darcy) et de sélectivité (taux de réjection).
- Mécanismes de transfert dans les membranes (convection, diffusion).
- Matériaux et modules membranaires.

### MICROFILTRATION FRONTALE

- Bases théoriques, milieux filtrants, mise en œuvre industrielle.
- Microfiltration clarifiante, stérilisation par microfiltration frontale.
- Dimensionnement et choix du filtre, applications.

### ULTRA FILTRATION, FILTRATION TANGENTIELLE, NANOFILTRATION

- Bases théoriques, milieux filtrants, mise en œuvre industrielle (concentration batch, filtration tangentielle continue avec ou sans recyclage).
- Polarisation de concentration, paramètres et conséquences.
- Encrassement, colmatage et nettoyage.
- Applications.
- Dimensionnement d'une installation (choix du type de module, influence de l'hydrodynamique, étude d'un dispositif à 2 étages).
- Caractérisation et contrôle qualité des membranes.

### OSMOSE INVERSE

- Bases théoriques, modules, applications.
- Notions sur les procédés membranaires de pervaporation, perméation gazeuse et dialyse.

### TRAVAUX PRATIQUES

- Présentation
- Essais pilote pour l'étude des paramètres de performance : mesure de débit en fonction de la pression et de la vitesse : sur eau pure (solvant).
- Essais pilote pour l'étude des paramètres de performance (suite) : mesure de débit en fonction de la pression et de la vitesse : sur mélange (solvant + soluté).
- Détermination du phénomène de polarisation et des conditions optimales de marche.
- Essais pilote pour l'étude de la concentration :
- Mesure de débit en fonction du facteur de concentration volumique
- Détermination du colmatage et essais de nettoyage.
- Optimisation des conditions générales de fonctionnement, exploitation des résultats.
- Diafiltration.
- Tests d'intégrité de cartouches stérilisantes (point de bulle).

**E. FAVRE**  
(CNRS/Université de  
Lorraine – Nancy)

**N. RODRIGUEZ**  
(CPE Lyon),  
**M. TARDY**  
(ex Sanofi Pasteur)



## M12 – CHROMATOGRAPHIE INDUSTRIELLE DES BIOMOLECULES

### DUREE

5 Jours -  
33 h: 22.5 h cours / 11.5 h TP

ECTS : 3 ECTS

### OBJECTIFS

Présenter les principes et la mise en œuvre de la chromatographie industrielle des biomolécules ainsi que les applications

La journée pratique au laboratoire permettra de :

- mieux comprendre les clés d'un package réussi à l'échelle pilote ou industrielle,
- être capable de réaliser le package d'un gel sur une colonne à échelle pilote.

### PRE-REQUIS

Connaissances en biochimie.

## PROGRAMME

### PRINCIPE DE LA CHROMATOGRAPHIE

- Fonctionnement des colonnes chromatographiques :
  - Fronts d'adsorption
  - Fronts d'élution
  - Pics linéaires et non linéaires
  - Régime cyclique
- Modes chromatographiques : Elution – Déplacement - Déformation

G. GREVILLOT  
(CNRS – Nancy)

### LA CHROMATOGRAPHIE

- Différents types de supports
- Propriétés
- Différents types de chromatographie associés
- Applications
- Adsorption
- Echange d'ions
- Exclusion
- Affinité
- Mise en œuvre des techniques chromatographiques depuis le package jusqu'au produit purifié et du laboratoire à l'échelle industrielle
- Développement de procédés : extrapolation à partir d'une étude de cas protéines
- Application de la chromatographie à la purification des biomolécules

M. TARDY  
(ex Sanofi Pasteur)

### PROCEDES CHOMATOGRAPHIQUES

- Procédés chromatographiques : batch, monocolonne, multicolonne (lit mobile simulé et autres)
- Principes – Technologie – Applications

H. OSUNA  
(PROCESSION)

### PURIFICATION ANTICOPRS MONOCLONAUX

- Application de la chromatographie à la purification des anticorps monoclonaux (Mab)

J. BOUSSANGE / C. DAVET  
(GE HEALTHCARE – Vélizy)

### TRAVAUX PRATIQUES

- **TP1 : Package/Depackage à l'échelle pilote**
  - Décrypter un protocole de package
  - Préparation du matériel
  - Injection solution saline et mesure de la conductivité
  - Package à l'échelle pilote (colonne de diamètre 140 mm)
  - Evaluation des performances de package (HETP, facteur d'asymétrie)
  - Depackage
- **TP2 : Purification à l'échelle laboratoire de biomolécules sur un système de chromatographie liquide**

M. TARDY –  
JP. LEFEVRE  
(PALL INDUSTRIE – Saint  
Germain En Laye)

B. THIOILLIER  
(GE HEALTHCARE)



## M13 – INTEGRATION, VALIDATION ET QUALITE DES PROCÉDES

### DUREE

4,5 Jours  
34h

**ECTS** : 3 ECTS

### OBJECTIFS

Comprendre les enjeux de l'Assurance Qualité (AQ).

Connaitre la méthodologie de mise en œuvre d'une démarche, d'une organisation, compatibles avec les contraintes spécifiques de qualité de la production industrielle

Etre capable de mettre en œuvre la validation des procédés.

Intégrer le Contrôle Qualité (CQ) dans le processus industriel.

### PRE-REQUIS

Notions de processus et d'organisation industrielle.

Connaissances générales en biotechnologies et bioprocédés.

Notions de gestion de projets.

## PROGRAMME

### QUALITY BY DESIGN / PROCÉDÉS DE PRODUCTION VIRALE

**E. PETIOT**  
(CPE Lyon)

### CONTROLE QUALITE ET ASSURANCE QUALITE

- Introduction assurance qualité
- Amélioration continue : « Les fondements de l'Assurance Qualité »
- La mise en œuvre du système qualité : Politique Qualité
- Classification des exigences en fonction des 5 M
- Evaluations du Système de management de la qualité
- Amélioration continue
- Contrôle Qualité
- Assurance Qualité appliquée au CQ
- Les bonnes pratiques de laboratoire
- La métrologie appliquée au laboratoire
- La validation des méthodes analytiques
- Gestion des standards et des substances de référence
- Gestion du risque qualité (Norme ISO 31100 et ICHQ9)
- Etudes de cas :
  - « Gestion des risques dans un laboratoire de contrôle »
  - « Production d'eau de qualité pharmaceutique »

**R. BENSIAM**  
(R/QM CONSULTING,  
Neuville Les Dames)

### QUALIFICATION ET VALIDATION D'UN PROCÉDE

- Qualification des équipements : QC, QI, QO et QP
- Validation d'un procédé
- La démarche et les étapes de la validation
- Validation des procédés – Exemples de validation
- Métrologie et cartes de contrôle
- Etude de cas : qualification et validations d'un procédé sur un nouveau site de production

**G. BENET**  
(ex MERIAL, Lyon)

**JF. BOUQUET**  
(ex SANOFI PASTEUR)



# M14 - SEPARATION PAR CENTRIFUGATION – EXTRACTION PAR SOLVANT - DISTILLATION

## DUREE

3.5 Jours  
24 h

ECTS : 3 ECTS

## OBJECTIFS

### SEPARATION PAR CENTRIFUGATION

- Connaître et comprendre des mécanismes de sédimentation.
- Être capable de dimensionner, simuler et mettre en œuvre les techniques de centrifugation.
- Être capable d'élaborer le cahier des charges de l'installation industrielle à partir des techniques de laboratoire pour isoler et concentrer l'extrait brut, « crude extract ».

### EXTRACTION PAR SOLVANT

- Connaître les principes de l'extraction par solvant ainsi que les procédés mis en œuvre.
- Apprendre le fonctionnement des diverses installations et pouvoir les dimensionner.

### DISTILLATION

- Connaître les spécifications imposées en distillation continue ou batch.
- Maîtriser les incidents (trouble shooting) pouvant se produire sur ce type d'installation.
- Acquérir les compétences nécessaires sur un simulateur dynamique de colonnes, reproduisant un environnement de salle de contrôle.

## PRE-REQUIS

Connaissances approfondies de mécanique des fluides.  
Connaissances approfondies de transfert de matière et de chaleur.  
Connaissances approfondies des bilans matière et énergie.

## PROGRAMME

### SEPARATION PAR CENTRIFUGATION

- Rappels théoriques sur la centrifugation
- But de la séparation solide / liquide - et liquide / liquide
- Aspects théoriques :
  - Accélération centrifuge - Loi de Stoke - Vitesse de sédimentation
  - Décantation centrifuge dans un cylindre diamètre critique
  - Décantation à l'aide d'assiettes
  - Pression de filtration centrifuge
- Paramètres qui modifient la vitesse de sédimentation
- Sédimentation gravitaire et sédimentation centrifuge
- Technologies des séparateurs à assiettes, gamme des séparateurs
  - Principaux composants d'un séparateur centrifuge
  - Les séparateurs à bol, à chambres
  - Les séparateurs à assiettes
  - Les auto-débourbeurs - Les séparateurs à buses
- Classement des machines centrifuges
- Paramètres à prendre en compte pour chaque machine (séparer, mélanger, extraire...)
- Comment choisir un bon séparateur
  - Critères à prendre en compte - Tests réalisables au laboratoire
  - Quelques calculs de dimensionnement - Options à prendre en compte - Facteurs limitants
- Sécurité
- Maîtrise des forces mises en œuvre (matériaux...) - Législation sur les machines tournantes - Stérilisation, décontamination
- Travail en présence de solvants ou de produits corrosifs (explosivité... corrosion)
- Nettoyage en place

P. MAILLET

### APPLICATION DE LA CENTRIFUGATION

- Analytique industrielle
- Utilisation des appareils centrifuges dans les biotechnologies
- Purification des composés
- Centrifugation différentielle zonale, isopycnic
- Exemples d'applications

M. TARDY  
(ex Sanofi Pasteur)

### EXTRACTION PAR SOLVANT

- Extraction liquide – liquide (équilibres, détermination du nombre d'étages)

N. LE BOLAY  
(ENSIACET Toulouse)

- théoriques)
- Equilibres entre phases liquides
  - Propriétés des équilibres entre deux constituants liquides, entre trois constituants liquides
    - Diagramme triangulaire – Isotherme de solubilité
    - Influence de la température – Autres diagrammes
  - Extraction à contact simple
    - Détermination des taux minimum et maximum de solvant
    - Détermination des débits et compositions d'extrait et de raffinat
    - Limites de l'extraction à contact simple – Application
  - Extraction à contacts multiples
    - Etablissement des bilans
    - Débits et compositions des extraits et des raffinats
    - Nombre d'étage théoriques
  - Extraction à contre-courant
    - Détermination du nombre d'étages théoriques
    - Détermination des taux minimum et maximum de solvant
    - Détermination des débits et compositions des extraits et des raffinats
  - Description des appareils
    - Mélangeurs – Décanteurs – Colonnes d'extraction
    - Critères de choix – Aide à la sélection
  - Dimensionnement
    - Mélangeurs – Décanteurs – Colonnes d'extraction
  - Fonctionnement
    - Démarrage – Rupture et coalescence
  - Applications de l'extraction liquide – liquide

## DISTILLATION

### Bases de la distillation (continue et batch)

- Volatilités absolues et relatives
- Expression des bilans matière
- Bilan thermique/ Hypothèses de Lewis
- Variables opératoires : taux de reflux, taux de rebouillage
- Calcul des colonnes binaires et complexes

### Conduite d'une distillation

- Colonne de distillation continue
  - Maîtrise des bilans matière et thermique
  - Systèmes de régulation mis en place
  - Contrôle de la température du plateau sensible
  - Contrôle du débit d'un des produits
  - Conduite en fonction des spécifications des produits de tête et de fond
- Colonne Batch
  - Notion de rétention (hold-up)
  - Maîtrise et contrôle du reflux
  - Gestion des « inters »
  - Conduite
  - Respect des spécifications
  - Minimisation du temps de batch
  - Minimisation de la quantité « d'inters »
  - Minimisation du temps de batch

P. BOUCOT  
(ex IFPEN)



## M15 - BIOCONVERSIONS

### DUREE

4.5 Jours  
28.5h

ECTS : 3 ECTS

### OBJECTIFS

Mettre en œuvre les bioconversions du laboratoire au stade industriel.  
En connaître les applications.

### PRE-REQUIS

Connaissances approfondies de biochimie et microbiologie.  
Connaissances de base des procédés biochimiques et microbiologiques.

## PROGRAMME

### TRAITEMENT DES EAUX

- Les eaux résiduaires industrielles
  - Caractérisation et traitement des eaux résiduaires
  - Problématique des eaux résiduaires industrielles
- Les traitements biologiques
  - Principe du traitement biologique
  - Les principaux procédés, avantages et inconvénients
- Les technologies membranaires
  - Membranes et technologies membranaires
  - Evaluation des performances, sélectivité et perméabilité
  - Application au traitement des eaux
- Le bioréacteur à membranes (BàM)
  - Caractéristiques et technologies des BàM
  - Particularités et potentialités dans le domaine du traitement d'eau
  - Demande énergétique

**C. WISNIEWSKI**  
**(UNIVERSITE MONTPELLIER**  
**1/ UFR Pharmacie –**  
**Montpellier)**

### BIOCARBURANTS

- Les 3 générations de biocarburants
- Les procédés de bioproduction
- Applications industrielles

**MO. CLARTE**  
**(IFPEN)**

### GENIE DES PROCÉDES DE BIOCONVERSION

- Choix du biocatalyseur : cellules entières ou enzymes ?
- Immobilisation du biocatalyseur (micro-organismes / enzymes fixées)
- Rappel d'enzymologie
- Réacteur de bioconversion
- Application industrielles : Biotechnologies blanches à destination des biocarburants, des pharmaceutiques, de l'industrie chimique

**D. COMBES**  
**(INSA Toulouse)**

### PRODUCTION D'ALGUES ET APPLICATIONS INDUSTRIELLES

- Opportunités économiques et challenges technologiques de la filière micro-algale
- Biologie micro-algale & Technologies de Cultures
- Récolte et séchage - Extraction de lipides
- Technologies de conversion des biomasses (biocarburants) & valorisation des coproduits
- Implémentations et ressources nécessaires
- Intégration avec les stations d'épuration / avec des sites industriels

**A. PHULPIN**  
**(Phycosource)**

### LA METHANISATION

- processus de méthanisation
  - Les microorganismes, les flux métaboliques
  - Conditions physico chimique de mise en œuvre
  - Caractérisation des substrats,
  - Caractérisation des performances
- La méthanisation des effluents industriels
  - Les biofilms
  - Les technologies
  - Les performances
- La méthanisation des déchets
  - Les technologies
  - Les performances
- Les Biogaz, Les digestats : compositions, utilisations

**P. BUFFIERE**  
**(INSA)**





## JOURNEE THEMATIQUE « LA CHAINE DU SOLIDE »

### DUREE

1 Jour- 7 h

ECTS : 0 ECTS

### OBJECTIFS

Connaitre les principes de la formulation

Etre capable de choisir les formes des produits finis et les techniques adaptées.

## PROGRAMME

### PROPRIETES DES POWDRES

- Coulabilité
- Mélange/démélange
- Granulométrie
- Polymorphisme
- Aptitude à la compression
- Solubilité

### PROCEDES DE SEPARATION /PURIFICATION, OBTENTION DU SOLIDE

- Cristallisation
- Broyage, micronisation
- Granulation
- Filtration
- Séchage : atomisation, lit fluidisé
- Lyophilisation avec démonstration

F. PUEL  
(Centrale Paris)

D. COSSERAT  
(CPE Lyon)



## FORMATIONS

### DUREE

2 Jours – 12.5 heures

**ECTS** : 0 ECTS

### OBJECTIFS

Connaitre les principes de la formulation  
Etre capable de choisir les formes des produits finis et les techniques adaptées.

## PROGRAMME

### MANAGEMENT DE PROJET

Comprendre et illustrer la gestion de projet sur un cas d'application

JJ ZEILLER  
J.DELAVEAU  
(CPE Lyon)

### ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE ET REDACTION DE RAPPORT

Apprendre à utiliser et exploiter les bases de données scientifiques pour la recherche bibliographique.  
Savoir rédiger un rapport technique

E.PETIOT  
A.REA-BOUTROIS

### REDACTION CV ET LETTRE DE MOTIVATION

Comprendre les attentes des recruteurs pour les CV et les lettres de motivation,  
être autonome pour adapter son CV et sa lettre aux besoins du recruteur

L. FOURGEOT D'ARC  
(CPE LYON)



## CYCLE DE CONFERENCE

### DUREE

5 –6 conférences de 1h

### OBJECTIFS

Le Mastère spécialisé® est assorti d'un cycle de conférences faisant intervenir des experts de différents domaines.  
Ces conférences sont ouvertes au grand public et sont accessibles librement, sur inscription (plus d'information sur le site [www.cpe.fr](http://www.cpe.fr)).



## VISITE DE SITES DE BIOPRODUCTION

### DUREE

0.5 Jour

### OBJECTIFS

Visite au cours de la formation d'un site de bioproduction



# CONDITIONS D'ADMISSION

---

*L'admission au Mastère Spécialisé® Bioprocédés - Génie des Procédés Biotechnologie se fait sur dossier et entretien.*

## COUT DE LA FORMATION :

---

Formation initiale : 10 500 € TTC

Formation continue : 17 000 € HT

## DOSSIER DE CANDIDATURE :

---

Téléchargeable sur [www.cpe.fr](http://www.cpe.fr) rubrique Formation/Mastère Spécialisé®

## DATE LIMITE DE DEPOT DU DOSSIER :

---

**19 octobre 2018**

- Frais de dossier : 80€
- Les entretiens auront lieu, sur convocation, à CPE Lyon ou à l'ENSIC à Nancy, courant octobre-novembre 2018
- Pour les dossiers reçus avant **le 29 juin 2018**, une première session de recrutement aura lieu courant juillet 2018.

**Dossiers de candidature à renvoyer à l'adresse suivante :**

CPE LYON FORMATION CONTINUE  
A l'attention de Mme Valérie Thoraval  
10, place des archives  
69002 Lyon

**Ou par e-mail à :**

[contact@cpe-formation.fr](mailto:contact@cpe-formation.fr)





