

## DOSSIER PROJET 2019

### IDENTIFICATION DU PROJET

<b>Numéro du projet (sera fourni par UNIT) :</b> .....
<b>Le projet est-il soumis à une autre UNT :</b> NON
<b>Nom du projet (2 lignes maxi) :</b> Dimensionnement et conduite des bioréacteurs
<b>Discipline :</b> Génie des Procédés <b>Sous-Discipline :</b> Génie agroalimentaire et biotechnologique. (Voir <a href="#">classification UNIT</a> sur le serveur)
<b>Etablissement partenaire porteur :</b> Conservatoire National des Arts et Métiers (Cnam) <b>Adresse complète (pour envoi des conventions) :</b> Cnam, Direction Nationale des usages du Numérique, case courrier 4D2N01, 292 rue St Martin, 75003 PARIS (à l'attention de M. Thierry KOSCIELNIAK) <b>Nom du chef d'établissement (signataire de la convention) :</b> M. Olivier FARON <b>Titre (Président, Directeur, ...) :</b> Administrateur Général
<b>Prénom et nom du chef de projet :</b> Wafa GUIGA <b>Fonction:</b> Maître de Conférences <b>Adresse complète :</b> 2 rue Conté 75003 Paris <b>Mél. :</b> <a href="mailto:wafa.guiga@lecnam.net">wafa.guiga@lecnam.net</a> .... <b>Tl. :</b> 01.58.80.89.92

<b>Type de projet :</b> (cocher la case correspondante)	
Réponse à l'appel ciblé	<input checked="" type="checkbox"/>
Organisation de formation en ligne	<input type="checkbox"/>
Constitution ou renforcement de communautés d'enseignants	<input type="checkbox"/>
Capitalisation des ressources pédagogiques numériques existantes	<input checked="" type="checkbox"/> secondaire
Développement de méthodes et d'outils supports aux objectifs d'UNIT	<input type="checkbox"/>
Production de ressources pédagogiques numériques	<input checked="" type="checkbox"/> principal
Production de grains pédagogiques	<input type="checkbox"/>
Promotion des usages des réalisations d'UNIT	<input type="checkbox"/>
Projet pluri-national	<input type="checkbox"/>

### COMMUNAUTE ET PUBLICS IMPLIQUES

<b>Liste des établissements, coordonnées des personnes d'ores et déjà impliqués dans la conception/réalisation du projet. L'accord de trois établissements membres d'UNIT est nécessaire (le porteur devra disposer d'un accord écrit de l'établissement qui pourra être transmis à l'établissement de la convention) :</b>
---

1. Conservatoire National des Arts et Métiers (Etablissement membre d'Unit) : Wafa GUIGA, Nicole CORSYN & Thierry KOSCIELNIAK
2. AgroParisTech (adhésion à Unit en cours) : Claire SAULOU, Catherine BEAL, Gabriel LANG, Gérôme FITOUSSI & Benjamin BAATARD
3. Ecole de Biologie Industrielle (EBI, adhésion à Unit en cours) : Nathalie GUILBERT
4. CentraleSupélec : Filipa LOPES

**Expression du besoin de contenu pédagogique, identification des demandeurs :**

A l'heure actuelle, il n'existe pas de ressource numérique complète libre, réutilisable et réorganisable par des utilisateurs tiers, sur le dimensionnement et la conduite des bioréacteurs, et sur l'aide à la modélisation et la simulation des bio-réactions. Les ressources pédagogiques proposées dans cet appel à projet sont destinées à des élèves de niveau L3-M1 et peuvent également être utilisées comme mise à niveau et outil de révision pour des élèves entrant en M2 de Génie des Procédés et Bioprocédés.

**Utilisateurs cibles :**

Enseignement complet : étudiants de niveau L3-M1, enseignants  
Fragments (vidéos, simulateurs, exercices): enseignants

**Liste des établissements s'engageant déjà dans l'utilisation des livrables :**

Cnam ; AgroParisTech ; EBI ; CentraleSupélec

## PROJET PEDAGOGIQUE

**Contexte et objectifs :** L'objectif est de construire un support complet pour un apprentissage en autonomie sur la conduite, le dimensionnement, la modélisation et la simulation des bioréacteurs. Le support contiendra les cours, avec des quizzes et des exercices d'auto-évaluation, des vidéos d'animation et de démonstration pas-à-pas (notamment sur les bilans matière et leur résolution dans le cas des fermenteurs et réacteurs enzymatiques), ainsi que des supports de simulation directement utilisables par les élèves. Ces supports de simulation ont pour objectif de faciliter l'appropriation de la simulation numérique par les étudiants.

Les contenus seront organisés de manière à ce que des enseignants tiers puissent les récupérer intégralement ou partiellement et les réutiliser de façon modulable. Ils seront donc organisés par « grains » autonomes.

Apport du Cnam :

Wafa Guiga dispense au Cnam depuis 2008 un enseignement à destination des élèves ingénieurs en IAA, qui a été étendu aux élèves ingénieurs en Génie Biologique, sur le dimensionnement et la conduite des bioréacteurs. Il représente environ 30 heures d'enseignement (cours + TD) :

- ✓ Supports de cours + des séquences vidéo de cours enregistrées + exercices avec corrigés pdf détaillés à transférer vers Scenari sous format d'exercices en auto-apprentissage + à compléter par des quizzes intermédiaires. Contenus : rappels sur les cinétiques enzymatiques ; rappels sur les cinétiques microbiennes, dimensionnement des réacteurs et conduite des fermenteurs ; transfert de matière dans les bioréacteurs.
- ✓ Simulateurs de fonctionnement des bioréacteurs. Calculs simulés (Excel et Libre Office) ; A faire : [fonctionnement simulé en réalité virtuelle \(plateforme Uptale\)](#).
- ✓ TP existant : Expérience de mesure du coefficient de transfert d'oxygène dans un fermenteur à filmer et exploiter (modélisation et comparaison avec les modèles empiriques).
- ✓ Liste de liens complémentaires utiles HTML (vidéos YouTube, cours en ligne).

### Apport des autres partenaires :

**CentraleSupélec :** Dans le cadre d'un enseignement dans le Master 2 Procédés, Biotechnologies, Aliments (Université Paris Saclay) et une conférence au Cnam, Filipa LOPES dispose d'un contenu générique sur l'introduction aux technologies à microalgues (1.5 h). Dans ce contexte, une étude de cas sur la conduite et la modélisation d'un photobioréacteur seront présentés sur ce cours en ligne (Diaporama de cours + enregistrement vidéo [à transcrire dans Scenari](#)).

**AgroParisTech :** Dans le cadre de leurs enseignements en 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> année d'école d'ingénieurs en spécialité « BioTech » ainsi qu'en Master 2 « Génie des Procédés et Bioprocédés », Catherine BEAL et Claire SAULOU disposent de supports de cours sur les cinétiques de production microbienne, la mise en œuvre, la conduite et le dimensionnement de fermenteurs, et l'extrapolation de bioprocédés, pour un volume horaire quinzaine d'heures. Elles proposent également des exercices corrigés en lien avec les cours, ainsi que des [projets de dimensionnement](#) demandant aux apprenants d'atteindre un objectif de production en tenant compte des caractéristiques biologiques des micro-organismes mis en œuvre, pour un volume horaire d'une quinzaine d'heures. Elles disposent de [données réelles obtenues lors de travaux pratiques, permettant l'analyse des résultats](#) et leur interprétation en regard de la bibliographie. Des vidéos de mise en œuvre des fermenteurs (préparation, inoculation, suivi cinétique) ont été réalisées et [doivent être finalisées puis transférées dans Scenari](#). Elles permettront d'illustrer les contenus des cours portant sur la fermentation et la mise en œuvre de bioréacteurs.

**Ecole de Biologie Industrielle :** Nathalie GUILBERT dans le cadre du cours Génie des Bioprocédés, délivré aux étudiants de l'EBI de 1<sup>ère</sup> année de cycle ingénieur, a développé un certain nombre d'outils pour accompagner le travail des étudiants : des supports écrits avec des espaces libérés pour la construction des schémas (afin de favoriser l'attention des étudiants en situation de cours magistral), des vidéos pour toutes les démonstrations mathématiques et la construction des représentations graphiques (pour que les étudiants puissent réviser le cours à distance), des tests Moodle d'apprentissage pour mettre en application très rapidement, sur des formats très courts, les connaissances acquises. L'ensemble des outils déjà produits sont complémentaires des séances de travaux dirigés proposées aux étudiants. Ce cours de génie des Bioprocédés correspond à un format horaire de 30h environ. L'ensemble des outils déjà développés sont compatibles avec le cours de Wafa Guiga et sont [à améliorer \(pour certaines vidéos\) et à transférer dans Scenari](#). [Des vidéos supplémentaires seront développées notamment sur l'étude du transfert d'oxygène](#).

### **Etat de l'art : Plus-value prévisible apportée par le projet par rapport à l'existant :**

Il existe des supports de cours en ligne, mais il s'agit essentiellement de diaporamas déposés sur une plateforme Moodle ouverte.

Exemple de supports de cours de l'UTC (diaporamas) :

<https://moodle.utc.fr/mod/folder/view.php?id=7184>

Exemple de supports de cours de l'Université Laval (diaporamas, 2010) :

<http://www2.gch.ulaval.ca/agarnier/GCH2103/bioreacteur/Bior%C3%A9acteurs.pdf>

Ces supports ne permettent cependant pas un apprentissage autonome et ne sont pas modulables.

Par ailleurs, il n'existe pas d'outils de simulation en libre accès sur le fonctionnement des bioréacteurs.

### **Livrables et résultats attendus (à indiquer pour la fin de la phase annuelle) :**

Le contenu final consistera en un cours en ligne complet sur le dimensionnement et la

conduite des bioréacteurs. Il sera développé sous Scenari de façon « granularisée » avec des séquences d'auto-évaluation. Le contenu « granularisé » aura pour objectif de permettre une réutilisation autonome et modulable par d'autres enseignants.

Il contiendra également les éléments de modélisation des différents modes de fonctionnement des bioréacteurs, que les étudiants pourront tester via des simulateurs Excel / Libre office / simulateur en réalité virtuelle / simulateurs déposés / TP virtuel.

Ces outils de simulation permettront aux étudiants de comparer par des expériences virtuelles ou numériques les performances des bioréacteurs dans différentes conditions.

Les vidéos de mise en œuvre et conduite des bioréacteurs permettront aux élèves de visualiser de manière très concrète les éléments essentiels pour préparer et mener une expérience de production de cellules ou de métabolites.

D'autres contenus Unit déjà disponibles peuvent être indiqués comme prérequis (Bases de transfert de matière et de chaleur, hydraulique, mécanique des fluides, génie de la réaction chimique).

Exemple : <http://tech-alim.univ-lille1.fr/>

Volume horaire apprenant (heure-équivalent-présentiel et/ou ECTS) : 40 heures équivalent présentiel / 4 ECTS.

**Contenus thématiques** : *chapitres, sous-chapitres, activités pédagogiques, ...*

Vidéo introductive au module.

Chapitre 1 : Cinétiques enzymatiques

Les modèles cinétiques ; les principaux types d'inhibition ; modélisation de l'inactivation thermique.

Quizzes et exercices.

Chapitre 2 : Cinétiques microbiennes

Modèles de croissance et de production de métabolites ; limitations, inhibitions et maintenance ; calcul des performances : rendements, productivité ; facteurs environnementaux influençant la croissance et la production microbienne.

Quizzes et exercices.

Chapitre 3 : Dimensionnement des réacteurs enzymatiques homogènes

Différents modes de fonctionnement. Bilans matière et modélisation.

Quizzes, exercices et simulateurs.

Chapitre 4 : Dimensionnement des réacteurs enzymatiques hétérogènes

Immobilisation des enzymes. Avantages et inconvénients des différentes techniques. Modélisation des transferts externes et internes.

Quizzes et exercices.

Chapitre 5 : Conduite des fermentations/bioréactions

Différents modes de fonctionnement et de conduite (discontinu, continu, semi-continu). Bilans matière et modélisation.

- Cas d'étude ou exemple de fermentation

Cas d'étude - modélisation d'un photobioréacteur pour la production de biomasse algale. Quizzes, exercices et simulateurs.

Chapitre 6 : Mise en œuvre des bioréacteurs microbiens

Mise en œuvre des bioréacteurs (préparation, inoculation, suivi, récolte). Technologies utilisées. Transferts de chaleur.

TP virtuel.

Quizzes, exercices.

Chapitre 7 : Etude des transferts de matière dans les bioréacteurs. Cas du transfert d'oxygène gaz-liquide.

Solubilité de l'oxygène dans les milieux de culture ; technologies d'aération et d'agitation des bioréacteurs ; modélisation du transfert gaz-liquide : bilans matière et modèles empiriques ; mise en œuvre expérimentale de la mesure.

Quizzes, exercices et simulateurs.

TP virtuel.

**Choix pédagogiques permettant de faciliter l'appropriation et l'utilisation par des enseignants autres que leurs auteurs :**

Support d'enseignement sous Scenari-Opale (organisation en grains, activités et module)

Vidéos au format mp4 ; Simulateurs Excel ou Libre Office ; simulateur en réalité virtuelle

Quizzes Moodle



**Moyens humains, techniques et organisationnels mis en œuvre : phase annuelle**

Moyens humains : 4 mois.personne d'enseignant.e.s chercheur.e.s, 4 mois.personne ingénieur.e.s pédagogiques, 0,5 mois.personne d'équipe de prise de vue.

Moyens matériels : moyens informatiques et audiovisuels existants au Cnam et à AgroParisTech. Achats de logiciels + ordinateurs dédiés à prévoir. Achat d'une caméra.

Organisation : Réunions bimestrielles téléphoniques ou présentesielles entre les partenaires, échanges par mail. Le fait que l'ensemble des partenaires soit francilien facilitera par ailleurs les rencontres et échanges.

**Choix techniques et technologiques : pérennité des développements, normes, chaîne éditoriale, ouverture et liberté accès**

Chaîne éditoriale Scenari-Opale ; Quizzes Moodle; Vidéos sous divers formats.

Révision prévue tous les deux ans dans un premier temps, puis tous les trois ans quand le contenu aura été éprouvé par plusieurs cohortes d'étudiants.

**Estimation budgétaire du coût du projet en € TTC :**

Personnels permanents des différents partenaires (coût brut chargé) = 70.000 €

Contractuels - Prestataires à recruter pour le projet = 16.000 €

Logiciels (Illustrator, Photoshop, InDesign, plateforme Uptale) = 10.000 €

Ordinateur créations graphiques = 4.000 €

Total = 100.000 €

**Financement total demandé à UNIT : 30.000 €**

Une version plus légère (notamment sans TP virtuel) pourrait être envisagée à partir de 20.000 €.