



## DOSSIER PROJET 2016

### IDENTIFICATION DU PROJET

<b>Numéro du projet (sera fourni par UNIT) :</b>
<b>Le projet est-il soumis à une autre UNT : NON</b>
<b>Nom du projet (2 lignes maxi) :</b> Génie de la Réaction Chimique : les réacteurs polyphasiques Bases de diseño de reactores
<b>Discipline : génie des procédés.....Sous-Discipline : réacteurs.....</b> (Voir classification UNIT sur le serveur)
<b>Etablissement partenaire porteur : le Cnam</b> <b>Adresse complète</b> (pour envoi des conventions) : Cnam, Direction Nationale du Numérique, case courrier 4D2N01, 292 rue St Martin, 75003 PARIS (à l'attention de Philippe DEDIEU) <b>Nom du chef d'établissement</b> (signataire de la convention) : Olivier FARON <b>Titre</b> (Président, Directeur, ...) : administrateur général
<b>Prénom et nom du chef de projet</b> : Nicole CORSYN & Marie DEBACQ <b>Fonction</b> : ingénieur pédagogique & maître de conférences <b>Adresse complète</b> : Cnam, case courrier 2D1P20, 2 rue Conté, 75003 PARIS <b>Mél.</b> : marie.debacq@cnam.fr <b>Tél.</b> : 01.58.80.87.07 <b>Co-porteur du projet</b> : Fabien BAILLON, Maître-Assistant à l'École des Mines d'Albi, Campus de Jarlard, 81013 ALBI Cedex 09, 05 63 49 33 26, Fabien.Baillon@mines-albi.fr

<b>Type de projet : (cocher la case correspondante)</b>	
Réponse à l'appel ciblé	<input 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"/>
Production de ressources pédagogiques numériques	<input checked="" type="checkbox"/>
Développement de méthodes et d'outils supports aux objectifs d'UNIT	<input type="checkbox"/>
Promotion des usages des réalisations d'UNIT	<input type="checkbox"/>
Projet pluri-national	<input checked="" type="checkbox"/>

## COMMUNAUTE ET PUBLICS IMPLIQUES

**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) :

1. Cnam – Marie DEBACQ, Nicole CORSYN & Astrid ROSSO  
(établissement membre d'Unit)
2. École des Mines d'Albi – Fabien BAILLON & Olivier LECOQ  
(établissement membre d'Unit)
3. École des Mines de Paris – Alain GAUNAND & Willy MORSCHEIDT  
(établissement membre d'Unit)
4. ENSIACET – Anne-Marie BILLET & Laurent PRAT
5. Universidad Autónoma de San Luis Potosí (Mexique) – Mario MOSCOSA SANTILLÁN & José Enrique GONZÁLEZ RAMÍREZ
6. Université de Lorraine (Ensic) – Éric SCHAER  
(établissement membre d'Unit)
7. Université d'Orléans (IUT Chimie) – Veronica BELANDRIA  
(établissement membre d'Unit)
8. Université Pierre et Marie Curie – Stéphanie OGNIER & Isabelle MABILLE

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

L'enseignement du génie de la réaction chimique est un incontournable non seulement dans les formations en génie des procédés, mais aussi en chimie et dans certaines formations généralistes. Le public visé est habituellement de niveau M1-M2.

Or il n'existe à ce jour aucun module équivalent à ce que nous nous proposons de développer.

### **Utilisateurs cibles :**

Enseignement complet : étudiants de niveau M1 ou M2 en spécialité génie des procédés ou M2 en spécialité chimie ou de formation généraliste

Fragments : enseignants

Vidéo « cinq minutes pour comprendre » : grand public initié aux sciences

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

Les partenaires ayant des formations à ce niveau :

- Cnam
- École des Mines d'Albi
- École des Mines de Paris
- Ensiacet
- Universidad Autónoma de San Luis Potosí (Mexique)
- Université de Lorraine
- Université Pierre et Marie Curie

## PROJET PEDAGOGIQUE

**Contexte et objectifs :** *contexte, acteurs, enjeux, public visé (le cas échéant), objectifs généraux, apports du projet, ...*

Il n'existe pas actuellement de ressource numérique libre, complète et granularisée (donc réutilisable et ré-interprétable) concernant le dimensionnement ou même simplement le fonctionnement des réacteurs polyphasiques. Ce module de formation de niveau M1-M2 pour des formations en génie des procédés, peut également intéresser d'autres formations en chimie ou généralistes.

L'objectif est de proposer une ressource interactive, pouvant être utilisée en autonomie par des apprenants, mais également entrer dans un dispositif de formation dans les établissements :

- ✓ soit dans son intégralité, par exemple dans le cadre d'un dispositif de classe inversée avec des séances de travaux dirigés et travaux pratiques réalisés en présentiel et/ou des mini-projets tutorés ;
- ✓ soit par fragments, qu'un enseignant peut intégrer dans son propre enseignement, quelle qu'en soit la forme.

Il existe à ce jour auprès des partenaires du projet :

- ✓ des supports de cours (diapositives et photocopiés) - à transposer sous Scenari-Opale
- ✓ des exercices corrigés - à convertir en exercices interactifs (étude de cas non linéaire réalisée avec Scenari-Topaze pour un ou deux d'entre eux) et à compléter par des quiz
- ✓ des installations pilote - un type sera à sélectionner et à réaliser sous forme de TP virtuel
- ✓ quelques listes de liens complémentaires (vidéos YouTube, vidéos et simulations LearnChemE, pages de sites d'équipementiers, etc.) - à intégrer dans le module Scenari

Les réacteurs polyphasiques seront abordés sous l'angle de leur usage, notamment en pétrochimie : des exemples d'application seront pris dans les principaux procédés de fabrication des molécules de base telles que l'éthylène, le propylène, le butadiène, BTX, ...

Le module de formation inclura un « TP virtuel » dont la forme exacte devra être définie dans la première phase de réalisation du projet, en adéquation avec les moyens affectés. Les outils développés pour le TP virtuel pourront être utilisés pour enrichir l'expérience pédagogique expérimentale en présentiel, ou à défaut palier à son absence.

Une séquence vidéo « cinq minutes pour comprendre » sera également réalisée, dont la thématique sera le réacteur piston. Selon les usages, elle pourra être vue comme une entrée en matière avant l'étude du module ou bien comme un outil autonome de diffusion de la culture scientifique.

**Le module de formation sera également proposé en espagnol.** Et il sera conçu pour respecter les règles de bonnes pratiques en matière d'accessibilité (transcription des vidéos, descriptif des images, etc.).

**Etat de l'art : Plus-value prévisible apportée par le projet par rapport à l'existant** (*existant, concurrence, analyse du marché, demande explicite, communauté existante*):

Outre les ouvrages plus généralistes, actuellement 4 ouvrages, dont 3 en français, font référence dans cette thématique :

- Octave LEVENSPIEL, "Chemical reaction engineering", 3th edition, Ed. Wiley, New-York, 1999
- Daniel SCHWEICH, "Génie de la réaction chimique", Ed. Tec&Doc - Lavoisier, Paris, 2001
- Pierre TRAMBOUZE et Jean-Paul EUZEN, "Les réacteurs chimiques", Ed. Technip, Paris, 2002

- Jacques VILLERMAUX, "Génie de la réaction chimique", Ed. Tec&Doc - Lavoisier, Paris, 1993

En dehors de ressources ponctuelles (vidéos ou animations ; quelques exercices corrigés « statiques ») et pour la plupart en anglais, il n'existe pas de ressource numérique libre, complète, interactive et granularisée dans ce domaine.

- Le site LearnChemE propose de nombreuses vidéos et des simulations, mais en anglais et surtout ce n'est pas un enseignement avec un déroulement continu et des exercices/quiz intermédiaires <http://www.learncheme.com/>
- Le département de génie chimique de l'*Indian Institute of Science* à Bangalore ou encore l'Université de Calgary mettent à disposition des séries de vidéos, en anglais également ; elles sont longues (généralement 40-50 min), d'une qualité pas toujours suffisante pour lire les équations présentées et sans interaction aucune :  
<https://www.youtube.com/playlist?list=PLE6AABEBC55CC0F74>  
[https://www.youtube.com/playlist?list=PLLDDIDzleWMCoMypngGrBJoHJHyW5XE\\_h](https://www.youtube.com/playlist?list=PLLDDIDzleWMCoMypngGrBJoHJHyW5XE_h)
- On peut trouver d'autres vidéos de type cours enregistré (en anglais et d'une qualité pas toujours très satisfaisante) comme par exemple :  
<https://youtu.be/tu1bLXSDzkM>  
<https://youtu.be/Tqu02Dv2EXI>  
<https://youtu.be/kLZHWbxA8Q4>

**Livrables et résultats attendus (à indiquer pour la fin de la phase annuelle) :** *livrables matériels et/ou immatériels, nombre de modules, volume horaire apprenant, impacts pour la communauté d'UNIT, ...*

Ce projet comporte trois livrables, pouvant être utilisés tous ensemble ou bien isolément :

- module d'autoformation complet ;
- TP virtuel illustrant le module de manière pratique ;
- vidéo « cinq minutes pour comprendre ».

Volume horaire apprenant (Heure-équivalent-présentiel et/ou ECTS) : 4 ECTS

Certains éléments seront également fournis sous forme de grains pour une réutilisation indépendante : animations et vidéos, quiz, exercices, TP virtuel, vidéo « cinq minutes pour comprendre ».

Pour faciliter la réappropriation, le module, ainsi que les fragments, seront accompagnés chacun d'une notice précisant les objectifs pédagogiques, le volume horaire, le niveau, les prérequis et des aides à la mise en œuvre.

Ce projet vise à atteindre un niveau de qualité au moins équivalent au projet Unit 2014-6 sur l'"HYDRAULIQUE pour le génie des procédés" et sera une ressource référencée sur le portail du génie des procédés actuellement en cours de réalisation (projet Unit 2015-16). La communauté génie des procédés a pour ambition de proposer à l'avenir d'autres projets sur d'autres sujets de génie des procédés pour compléter l'ensemble et tendre progressivement vers la couverture complète des diverses thématiques fondamentales de la discipline.

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

Vidéo introductive (pouvant être utilisée de manière autonome pour la diffusion de la culture scientifique) « cinq minutes pour comprendre : le réacteur piston »

Rappels sur les phénomènes de transfert : transfert externe et diffusion interne

Chapitre 1 : réactions et réacteurs à solide consommable  
modèles à cœur rétrécissant et à grain rétrécissant  
régimes réactionnels  
aspects technologiques ; réacteur agité vs réacteur piston

introduction au dimensionnement des réacteurs à solide consommable

Chapitre 2 : réactions et réacteurs à catalyseur solide

module de Thiele et nombre de Biot

régimes réactionnels

aspects technologiques et éléments de choix de réacteur

introduction au dimensionnement des réacteurs catalytiques

Chapitre 3 : réactions et réacteurs gaz/liquide

critère de Hatta, facteur d'accélération et nombre de Damköhler

régimes réactionnels

aspects technologiques et critères de choix de réacteur

introduction au dimensionnement des réacteurs gaz/liquide

**Activités (liste non exhaustive) :**

Plusieurs quiz d'auto-évaluation

Oxydation du sulfure de zinc

Réduction de  $UO_3$  en  $UO_2$

Fabrication de l'éthylène

Production du propylène

Production de butadiène

Craquage de l'acétone

Production d'oxyde d'éthylène

Production d'anhydride phtalique en réacteur multi-tubulaire à lit fixe et refroidi

1 à 2 étude(s) de cas non linéaire(s)

TP virtuel

**Choix pédagogiques permettant de faciliter l'appropriation et l'utilisation par des enseignants autres que leurs auteurs :** *modularité, granularité horaire ou thématique, facilité de ré-ingénierie pédagogique par un autre enseignant*

L'objectif est de disposer d'un enseignement complet (cours, exercices, quizz, vidéos et « TP virtuel ») utilisable dans son ensemble, mais "granularisé" afin que les enseignants qui le souhaitent puissent n'en utiliser que des fragments (fournis de manière indépendante) et les intégrer à leur guise dans leurs propres enseignements.

## RESSOURCES PROJET

**Échéancier prévisionnel :** *durée de réalisation, phase annuelle et actions correspondantes*

Réalisation sur 1 an : voir détails dans le diagramme de GANTT couplé à la méthode ADDIE (modèle de conduite d'un projet d'ingénierie pédagogique) sur le graphique suivant.



## **Moyens humains, techniques et organisationnels mis en œuvre :**

### Moyens humains :

personnels permanents ou contractuels sur ressources établissements : 3 hommes.mois enseignant, 4 hommes.mois ingénieur pédagogique, 2 hommes.mois technicien + équipe de prise de vue (2 hommes.mois personnel catégorie B)

Moyens matériels : moyens informatiques et audiovisuels existants dans les établissements partenaires ; achats des licences annuelles de logiciels nécessaires au développement des ressources + ordinateur dédié

### Prestation / sous-traitance :

réalisation des outils pour le développement du « TP virtuel »

réalisations de certains graphismes + habillages Scenari

transcription des vidéos pour l'accessibilité & soutien pour la traduction en espagnol

Le recours à des stagiaires d'écoles spécialisées est envisagé d'une part pour limiter les coûts et d'autre part pour participer à leur formation et acquisition d'expérience professionnelle.

Organisation : réunions d'avancement mensuelles à bimensuelles par visioconférence avec tous les partenaires (voir calendrier prévisionnel sur le graphique précédent)

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

Pour le module proprement dit : chaîne éditoriale Scenari (modèles Opale et Topaze) ; animations HTML5 ; vidéos MP4.

Pour le TP virtuel plusieurs pistes seront explorées en début de projet afin de sélectionner la plus pertinente, en adéquation avec les moyens disponibles. La virtualité portera à la fois sur :

- la **préparation avant le TP en réalité virtuelle** : modèle 3D de l'installation, dans laquelle l'étudiant pourra circuler afin d'en comprendre le fonctionnement ; la piste du Google Cardboard (masque 3D en carton fonctionnant avec une application sur smartphone) sera notamment explorée ; en cas de difficulté technique majeure pour certaines parties, une vidéo détaillant ces éléments de l'installation pourra au minimum être réalisée ;
- l'**enrichissement de l'expérience pédagogique pendant le TP en réalité augmentée** : compléments techniques consultables sur smartphone ou tablette, dans la lignée du projet Mirage <http://mirage.ticedu.fr/> ; *a minima* avec des QRcodes placés sur certaines parties de l'installation ;
- la **comparaison des résultats expérimentaux avec des simulations numériques** (les modèles et équations nécessaires sont déjà disponibles et devront être mis sous un format intégrable dans le dispositif global).



Attribution - Partage dans les mêmes conditions

Révision prévue tous les trois ans.

**Estimation budgétaire du coût du projet en € TTC : au total, pour la phase annuelle à lancer, par partenaire, autres financeurs, financement demandé à UNIT**

personnel des différents partenaires (coût brut chargé) = 63 000 €

sous-traitance :

- ✓ infographie, graphismes, animation 3D = 15 000 €
- ✓ films = 5 000 €
- ✓ transcription des vidéos = 3 000 €
- ✓ aide à la traduction = 3 000 €

licences logiciels et ordinateur pour créations graphiques = 4 000 €

TOTAL = 93 000 €

**Financement demandé à UNIT : 30 000 €**

**À noter qu'une version plus légère du module (avec en particulier une version simplifiée du « TP virtuel » et sans étude de cas non linéaire) pourrait être envisagée à partir d'un montant global de 20 000 €**