

## Proposition de sujet de thèse :

# Monitoring des procédés de cristallisation par émission acoustique assistée par intelligence artificielle

### Contexte

La réindustrialisation en France des moyens de productions avec par exemple la production de principe actifs permettra de moderniser les procédés qui sont mis en jeu car actuellement l'ensemble des usines sont vieillissantes. La cristallisation est un exemple de procédés qui est utilisé en chimie et pharmacie et peu de cristallisoirs industriels sont digitalisés pour plusieurs raisons. En effet, il est difficile et coûteux pour les industriels de moderniser leurs installations et l'opération unitaire de cristallisation est parfois complexe. L'apport de capteurs externes et non intrusif peut permettre d'apporter des solutions pour une digitalisation de ce procédé. Cependant, pour avoir une application industrielle il manque encore une étape à la fois de compréhension des phénomènes physico-chimiques lors de la cristallisation et leur influence sur l'émission acoustique (EA) émise lors de ce procédé.

Le sujet de thèse de doctorat décrit ci-après s'inscrit au sein d'un bouquet de thèses dont le but est de construire une approche scientifique pluridisciplinaire pour aborder l'enjeu sociétal « Société numérique responsable » et plus précisément, la thématique spécifique « Data et IA dans une démarche durable et responsable », identifiée comme un enjeu prioritaire par les 4 établissements du Collège d'Ingénierie Lyon Saint-Etienne (Centrale Lyon, ENTPE, INSA Lyon, Mines Saint-Étienne) et par l'Université Jean Monnet Saint-Étienne, qui soutiennent financièrement les thèses formant ce bouquet 2025.

### Le sujet de recherche

L'objectif de ce projet est de suivre les procédés de cristallisation à l'aide de la technique d'émission acoustique. Les différents mécanismes mis en jeu lors de la cristallisation (germination, croissance, germination secondaire, chocs entre particules) peuvent générer des formes d'ondes acoustiques. Ces dernières enregistrées par des capteurs piézoélectriques sont ensuite analysées par des approches basées sur le traitement du signal et la science des données. Cette technique de suivi présente l'avantage d'être totalement passive et de n'avoir aucune influence sur le processus observé. De plus, elle permet d'identifier la nature et la source des phénomènes détectés à partir de l'analyse des signaux d'EA en appliquant des techniques d'apprentissage et de fouille de données. En effet, il y a lors de la cristallisation une EA très importante permettant d'obtenir une base de données conséquente nécessitant une structuration afin d'associer chaque signal à un mécanisme source. Le but final est de bâtir une base de données et/ou un algorithme permettant d'affecter aux phénomènes physico-chimique leur signature acoustique, pour ensuite pouvoir utiliser cette bibliothèque sur des procédés industriels et prendre une décision en temps réel. L'objectif du travail consistera donc à rendre cette technique capable d'être utilisée pour une approche « pronostic et décision », approche aussi appelée « Prognostics and Health Management » (PHM). L'approche proposée repose sur les volets suivants, accessibles grâce à l'EA:

- 1) Acquisition de signaux et traitement des signaux, calcul de descripteurs dans le domaine temporel et fréquentiel,
- 3) Identification de la signature acoustique des différents mécanismes sources,
- 4) Création d'une bibliothèque et développement d'un modèle par apprentissage machine,
- 5) Utilisation du modèle pour une aide à la décision.

L'identification de la signature acoustique des divers phénomènes mis en jeu lors de la cristallisation (germination, croissance, germination secondaire, chocs entre particules) ainsi que la localisation de ceux-ci présentent encore de nombreux verrous scientifiques. Il faudra distinguer dans l'espace et le temps tous ces phénomènes pour affecter les signaux d'EA aux mécanismes physiques. C'est pour cette raison que dans le projet, nous souhaitons appliquer la méthodologie de traitement des signaux utilisé pour la corrosion ou dans le domaine du suivi de l'endommagement des matériaux composites (méthodologie basée sur dendrogramme, ACP, Laplacian score, K plus proches voisins, forêts d'arbre décisionnels, carte de Kohonen,...). Il faudra étudier divers produits cibles (organiques, minéraux...) et divers types de cristallisation pour avoir une diversité de systèmes à analyser. Le but est de pouvoir digitaliser les procédés de recyclages ou de décarbonation utilisant l'opération unitaire de la cristallisation. De plus, une modélisation des sources attendues et de la propagation des ondes dans ce milieu multiphasique pourra être envisagée, ce qui est aussi un beau défi scientifique qui a été débuté par l'équipe de l'INSA Lyon. Cette modélisation permettra d'apporter des éléments pour la validation de la signature acoustique des différents mécanismes sources.

### **Encadrement et répartition géographique des travaux**

Le doctorant sera inscrit à Mines Saint-Etienne, l'encadrement des travaux sera réalisé à parts égales entre le centre SPIN de Mines Saint-Etienne et le laboratoire MATEIS de l'INSA de Lyon. Les moyens nécessaires à la réalisation de son projet de thèse disponibles dans les deux laboratoires seront mis à sa disposition.

Le doctorant sera basé géographiquement à Saint-Etienne et sera amené à effectuer des séjours à Lyon.

### **Profil du candidat**

De formation master ou école d'ingénieur, le candidat présentera de bonnes compétences en traitement des données, intelligence artificielle avec des connaissances en génie des matériaux ou génie des procédés. Une première expérience (stage) sur l'un des domaines couverts par ce projet serait un plus.

#### Niveaux de langue requis :

- Français niveau intermédiaire supérieur : vous pouvez utiliser la langue de manière efficace et vous exprimer précisément.
- Anglais niveau intermédiaire : vous pouvez parler la langue de manière compréhensible, cohérente et avec assurance sur des sujets de la vie courante qui vous sont familiers.

### **✉ Candidatez dès maintenant !**

#### **Date limite de candidature : 15/05/2025**

☞ Les dossiers de candidature (CV, lettre de motivation, lettre de recommandation le cas échéant, pièce d'identité) sont à déposer sur la plateforme RECRUITEE : <https://institutminestelecom.recruitee.com/o/doctorant-ou-doctorante-monitoring-des-procedes-de-cristallisation-par-emission-acoustique-assistee-par-intelligence-artificielle-contrat-doctoral-3-ans>

Une copie du dossier candidature sera envoyée par mail à :

Nathalie Godin, MCF, HDR, INSA de Lyon, laboratoire Mateis, [nathalie.godin@insa-lyon.fr](mailto:nathalie.godin@insa-lyon.fr).  
Eric Serris, Ingénieur de recherche, HDR, centre SPIN de de Mines Saint-Etienne, [serris@emse.fr](mailto:serris@emse.fr).