

## THESE CIFRE - 36 mois : Traitement d'incertitude associée à la segmentation et la complétion d'images par algorithmes d'apprentissage profond : application à la mesure par images MEB de nanoparticules

Localisation : 60% LNE Trappes 78 – 40% partenaire académique

Référence : ML/IANANO/DMSI

### Contexte et missions :

La mesure de la taille d'une population de nanoparticules reste un défi métrologique majeur pour le développement industriel des nanomatériaux. La microscopie est encore aujourd'hui la technique de référence permettant de déterminer la taille, la distribution en taille et la forme des nanoparticules. Il s'agit d'une technique dite « directe », car fondée sur l'observation et le résultat de mesure est directement traçable à l'unité SI de longueur, le mètre. Le processus de mesurage consiste à imager un ensemble de particules (environ 250) statistiquement représentatif de l'échantillon, de les mesurer une à une et de construire un histogramme de distribution de taille. Le processus de mesurage peut être décomposé en quatre phases déterminantes :

- la préparation de l'échantillon
- l'étalonnage et la qualification métrologique de l'instrument
- l'acquisition des mesures
- l'analyse de l'image et traitement des données

La plupart du temps, l'opérateur néglige l'importance métrologique de la dernière étape car il utilise, pour extraire le résultat de l'image, un logiciel commercial ou en libre accès. Or, ces logiciels se comportent comme des « **boîtes noires** » et peuvent engendrer de nombreuses erreurs.

Le principe de la mesure de nanoparticules à partir d'une image de microscopie consiste à :

- réaliser un **contour de chaque particule** grâce à des outils manuels ou automatiques
- déterminer la valeur de **différents mesurandes** (diamètre équivalent de surface projetée, diamètre de Féret etc.) à partir de la détermination de la surface de la particule imagée ou à partir d'un profil.

Cependant, la détermination fiable du contour de chaque particule est rendue difficile à cause du phénomène d'agglomération qui a tendance à former des « paquets » de particules tridimensionnels. Seules les particules qui se trouvent en surface des agglomérats sont totalement imagées et peuvent être utilisées pour la construction de l'historgramme de distribution de taille et la mesure de la dimension des nanoparticules. Une grande partie de l'information est donc perdue.

Il existe des algorithmes qui permettent une détermination automatique de la taille de chaque particule intégrée dans les agglomérats, fondés sur la fonction « watershed » (« ligne de partage des eaux »). Cependant, cette technique nécessite l'adaptation complexe de filtres et l'ajustement de paramètres ; elle peut générer des erreurs et la fiabilité du résultat dépend fortement des choix de l'opérateur.

Pour réaliser des progrès notables dans le domaine de la mesure de nanoparticule par microscopie électronique à balayage, il est nécessaire de changer de paradigme et notamment d'abandonner l'idée de développement d'un algorithme universel qui serait capable d'analyser les images de nanoparticules avec

la même fiabilité quelque soient la forme, la taille, la polydispersité ou la nature chimique des nanoparticules.

Dans ce projet de recherche, nous proposons d'utiliser l'Intelligence Artificielle (IA) afin d'apprendre à un réseau de neurones à reconnaître les propriétés morphologiques d'une population de nanoparticules de  $\text{TiO}_2$ , qui est fréquemment utilisée dans le domaine alimentaire comme colorant blanc.

Une fois l'apprentissage de reconnaissance de forme réalisé, pour cette population de nanoparticules, l'objectif consistera à :

- améliorer la segmentation des particules, c'est-à-dire, fiabiliser la détermination des contours.
- reconstruire certaines nanoparticules dont une partie est cachée à cause du phénomène d'agglomération, avant d'en déduire leur taille. Cela permettrait d'augmenter le nombre de nanoparticules à mesurer sur une image, de diminuer de manière notable le nombre d'images à réaliser, donc de diminuer le coût et d'augmenter la vitesse des mesures dans les processus métrologiques temps/réel mis en place sur les lignes de production industrielles des nanomatériaux.
- évaluer la possibilité de construire des bases de données constituées de nanoparticules représentatives du monde industriel afin de mettre en œuvre des algorithmes adaptés et plus robustes.

### **Profil :**

Vous possédez un diplôme en Mathématiques appliquées.

Des compétences en statistiques, deep-learning et traitement d'images sont indispensables.

Vous avez des connaissances en programmation Python et dans l'utilisation de bibliothèques du type Tensorflow.

Des participations dans des évènements scientifiques ou dans la rédaction d'articles scientifiques seront particulièrement appréciées.

**Pour candidater : merci d'envoyer votre CV et LM à [recrut@lne.fr](mailto:recrut@lne.fr) en rappelant en objet du mail la référence ML/IANANO/DMSI**